This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

NYPL RESEARCH LIBRARIES
3433 06274191 7

PAA..

ANNALES

DE

CHIMIE ET DE PHYSIQUE.

TROISIÈME SÉRIE,

1841.

ANNALES

DE

CHIMIE ET DE PHYSIQUE.

TROISIÈME SÉRIE,

1841.

ANNALES

DE

CHIMIE ET DE PHYSIQUE,

PAR

MM. GAY-LUSSAC, ARAGO, CHEVREUL, DUMAS,
PELOUZE, BOUSSINGAULT
ET REGNAULT.

Troisième Série.

TOME TROISIÈME.

PARIS,
FORTIN, MASSON ET Cie, LIBRAIRES,
SUCCESSEURS DE CROCHARD,
PLACE DE L'ÉCOLE DE MÉDECINE, N° 1.

IMPRIMERIE DE BACHELIER,
RUE DU JARDINET, N° 12.

1841.

A LEIPZIG,

CHEZ MICHELSEN.

ANNALES

DE

CHIMIE ET DE PHYSIQUE.

RECHERCHES

Sur les lois de l'induction des courants par les courants;

PAR M. ABRIA,

Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

PREMIÈRE PARTIE. — *Méthode d'observation.*

Depuis la brillante découverte de M. Faraday sur l'induction des courants électriques, personne, à ma connaissance, n'a essayé d'en rechercher les lois, c'est-à-dire de déterminer, dans chaque cas, le rapport entre l'intensité du courant inducteur et celle de chacun des deux courants auxquels il peut donner naissance. L'objet de ce travail est de faire connaître un moyen propre à résoudre cette question, et d'exposer quelques-uns des résultats que son emploi a fait connaître.

Il n'est pas inutile d'observer que ces phénomènes d'induction se manifestent avec des longueurs de fils peu considérables, ce qui est d'un grand avantage dans la recherche des lois auxquelles ils sont soumis. Si l'on prend deux fils de cuivre, recouverts de soie, de 2 ou 3^m de longueur sur

$\frac{1}{2}$ millim. en diamètre, si on les dispose, l'un à côté de l'autre, suivant les côtés d'un rectangle, ou en spires parallèles, en laissant 1 ou 2 décimètres de fil libres à chaque extrémité, et si, après avoir complété l'un des circuits avec une hélice du même fil à pas très-petits, on dispose l'autre de manière qu'il puisse communiquer avec les deux pôles d'un élément voltaïque de 1 décimètre sur 2, il sera très-aisé de reconnaître les deux courants développés dans le premier fil par l'action du second, lors de l'établissement et de la rupture du circuit, en plaçant dans l'hélice des aiguilles d'acier trempé de $\frac{1}{2}$ millim. environ de diamètre sur 10 à 15^{mm} de longueur. Il faut, bien entendu, placer les aiguilles dans l'hélice avant de fermer le circuit, et les retirer avant de l'ouvrir, quand on veut s'assurer de l'existence du courant *inverse;* les placer, au contraire, après l'avoir fermé, et ne les retirer qu'après la rupture du circuit, lorsqu'il s'agit du courant *direct*. Le pôle austral de l'aiguille correspond, dans l'un des cas, à l'une des extrémités de l'hélice, et, dans l'autre, à l'extrémité opposée : cela suffit pour être assuré que l'aimantation n'est pas produite par une portion de l'électricité de la pile qui aurait traversé le fil induit. On peut d'ailleurs vérifier aisément s'il y a ou non communication métallique entre les deux fils, en examinant si l'aiguille s'aimante quand on la dispose dans l'hélice après avoir fermé le circuit, et qu'on la retire avant de l'ouvrir, ou en s'assurant, à l'aide d'une boussole placée dans le courant voltaïque, que celui-ci passe seulement lorsque la communication est établie avec les bouts d'un même fil.

Si l'on fait recuire légèrement les aiguilles, la durée d'oscillation correspondante à un même courant devient plus petite, et l'on peut apprécier de plus faibles quantités d'électricité. Il est facile de reconnaître, par ce moyen, les deux courants avec des fils de $\frac{1}{3}$ de millim. en diamètre et de 30 à 40$^{cent.}$ de longueur seulement, entortillés l'un autour de l'autre et enroulés à tours très-serrés autour de tube d'un verre.

L'expérience réussit également avec des fils de diamètres et de longueurs plus ou moins considérables. Seulement, à mesure que l'on augmente la longueur du fil inducteur, ou que l'on diminue sa section, il faut avoir soin d'augmenter la quantité d'électricité destinée à le traverser, afin que le courant inducteur ait une intensité suffisante.

On peut aussi reconnaître, à l'aide de longueurs assez peu considérables, l'existence de chacun des courants induits, en se servant d'un galvanomètre, pourvu qu'il soit très-sensible, à fil gros et court. Mais, outre que ce moyen ne permet pas d'apprécier leur intensité, il n'est pas, même pour la sensibilité, comparable au précédent (1).

Quelle que soit la disposition des systèmes induit et inducteur, la durée des oscillations de l'aiguille, soumise une seule fois à l'action de l'un des courants induits, du direct, par exemple, ne varie pas si on la soumet plusieurs fois à cette même action, pourvu que le courant inducteur reste le même, que l'aiguille ait toujours son pôle austral à la gauche du courant qui doit agir sur elle, et que le circuit de la pile ne soit interrompu qu'une seule fois. On s'assure aisément de la constance du courant inducteur, en lui faisant

---

(1) Le fait du développement de l'électricité par induction peut encore se reconnaître par les étincelles qui se manifestent dans le circuit induit, convenablement fermé, lorsqu'on interrompt le circuit inducteur. Il suffit de prendre deux fils de 1 à 2 millim. de diamètre, de 1 à 2 mètr. de longueur, recouverts de soie et bien réunis parallèlement, de faire plonger l'une des extrémités du fil induit dans une cavité pleine de mercure, et d'établir la communication de celui-ci avec l'autre extrémité à l'aide d'un fragment d'or en feuilles. Avec un seul élément bien saturé, des étincelles très-visibles apparaissent dans la feuille d'or, à chaque rupture du circuit inducteur; elles se manifestent également si l'on emploie de plus grandes longueurs de fils. Ces étincelles ont été déjà mentionnées par M. Henry, de Princeton; si j'en parle ici, c'est uniquement pour faire remarquer qu'elles sont visibles avec des appareils extrêmement simples. On peut également les apercevoir par le même moyen, si l'on fait passer la décharge d'une bouteille de Leyde dans le fil inducteur, lors même que le fil induit en est à une distance considérable.

traverser une boussole de sinus, et en l'interrompant lorsque l'aiguille de l'instrument a atteint une déviation fixe.

L'observation fait voir que les résultats cessent d'être constants lorsqu'on n'a pas soin de placer le pôle austral de l'aiguille à aimanter à gauche du courant qui doit agir sur elle, ou lorsque le circuit inducteur est interrompu et rétabli plusieurs fois pendant que l'aiguille est dans l'hélice du circuit influencé. Il était aisé de le prévoir en remarquant qu'une aiguille, soumise à l'action de plusieurs courants alternativement de sens contraires, éprouve des variations dans son état magnétique, et ne prend pas, lorsqu'on la soumet à un courant déterminé, le même degré de magnétisme qu'auparavant.

Il en est de même quand on opère sur le courant inverse ; mais il faut prendre beaucoup de précautions pour s'assurer que le courant inducteur reste le même. Il est bon de n'employer qu'un petit nombre d'éléments et de mettre peu d'intervalle entre les expériences. On peut reconnaître, du reste, soit par la déviation de l'aiguille de la boussole au moment de la fermeture du circuit, soit en arrêtant de suite ses oscillations, si l'intensité du courant éprouve des variations notables.

La durée de chacun de ces courants est extrêmement petite : si l'on opère avec un courant inducteur énergique, et dans les circonstances où le courant induit est lui-même très-intense, une aiguille non aimantée, placée dans l'hélice du circuit induit de suite après avoir ouvert ou fermé le circuit, ne prend pas d'aimantation appréciable. Néanmoins, quoique l'action soit, pour ainsi dire, instantanée, l'aiguille reçoit tout le degré de magnétisme que le courant peut lui communiquer.

Les expériences précédentes démontrent que le courant inducteur restant le même, l'intensité de chacun des courants induits, direct ou inverse, est aussi constante. Il est naturel

de penser que les aiguilles soumises à leur action s'aimantent, comme s'ils conservaient la même intensité pendant un intervalle de temps plus considérable. Cela posé, si l'on place dans le circuit inducteur et dans le circuit induit deux hélices égales, et si l'on soumet successivement une même aiguille à l'action de chacun des deux courants, en commençant par le plus faible, le rapport des durées d'oscillation de l'aiguille dépendra de celui qui existe entre les intensités des deux courants, et sera égal au rapport inverse de ces mêmes intensités, si le diamètre et la longueur des aiguilles sont tels, eu égard aux dimensions des hélices, que l'intensité magnétique développée varie comme le carré de celle du courant (1). C'est ce moyen que j'ai employé pour évaluer l'intensité de chacun des courants induits, estimée en prenant celle de l'inducteur pour unité.

Les hélices dont je me suis servi sont faites avec un fil dont le diamètre est, pour les unes, $0^{mm},28$; pour les autres, $0^{mm},64$. Les premières ont 14 à 15^{mm} de longueur, et renferment environ 26 tours. J'emploie, avec ces hélices, des aiguilles de 13 à 15^{mm} de longueur et dont le diamètre est compris entre $0^{mm},40$ et $0^{mm},65$. Je n'ai pas pris d'aiguilles plus minces, ce qui aurait permis d'employer des hélices plus courtes, parce que, d'après les observations que j'ai faites dans mon travail sur l'aimantation, la trempe occasionne des variations beaucoup plus fortes et beaucoup plus fréquentes dans la loi de l'aimantation sur les aiguilles d'un petit diamètre, que sur celles qui sont plus grosses. Je ne me suis pas servi d'aiguilles de diamètre supérieur à $0^{mm},65$, parce la longueur pour laquelle l'intensité magnétique croît comme le carré de celle du courant, augmente rapidement avec le diamètre, et ne m'est connue qu'imparfaitement lorsque le diamètre est supérieur à $0^{mm},80$.

Les hélices du fil de $0^{mm},64$ ont 22^{mm} de longueur et

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, 3me série, tome 1er, page 385.

30 tours. Les aiguilles dont je me sers avec elles ont 16^{mm} environ de longueur et $0^{mm},4$ ou $0^{mm},5$ en diamètre. C'est pour elles que la durée d'oscillation varie en raison inverse de l'énergie du courant (1).

Lorsque les deux courants sont peu différents l'un de l'autre, les dimensions des aiguilles ont moins d'influence, parce que le produit de la durée d'oscillation par l'intensité du courant varie très-peu, en général, lorsque l'intensité du courant n'éprouve que de faibles variations ; mais il faut se servir des aiguilles indiquées lorsque l'un des courants est deux, trois, quatre ou cinq fois plus fort que l'autre.

Il est assez difficile de faire, surtout avec un fil très-fin, deux hélices parfaitement égales ; mais on peut s'assurer de leur égalité, et, dans le cas où elle n'a pas lieu, déterminer la correction convenable. Il suffit de faire traverser les deux hélices par un même courant d'intensité constante, et de soumettre une même aiguille à son action, d'abord dans l'une, puis dans l'autre des deux hélices. Si, en commençant successivement par chacune d'elles, la durée d'oscillation ne diminue pas par l'action de la seconde, les deux hélices sont égales. Si l'une d'elles est plus énergique que l'autre, le rapport des durées d'oscillation indique la correction qu'il faut faire subir aux expériences faites avec l'une des hélices pour les ramener à ce qu'elles seraient si l'on avait employé la seconde.

J'ajouterai que, lorsqu'on soumet l'aiguille à l'action du courant inducteur, il est indifférent que le fil induit soit ouvert ou fermé. La durée d'oscillation ne varie pas non plus si l'on rompt le circuit de la pile, le circuit induit étant ouvert ou fermé, quoique l'étincelle qui se manifeste dans le premier cas soit notablement plus vive que dans le second.

Si le principe qui sert de base à ces recherches est

(1) Mémoire cité.

exact, il faut qu'en soumettant plusieurs aiguilles successivement à chacun des courants induit et inducteur, le rapport de durées d'oscillation soit constant pour chacune d'elles. *A priori,* on doit s'attendre à des variations d'autant plus fortes, que les courants induit et inducteur différeront davantage l'un de l'autre, et cela à cause des variations que la trempe apporte dans la loi de l'aimantation. Néanmoins, quoique la durée d'oscillation soit souvent très-différente d'une aiguille à une autre, les rapports obtenus par cette méthode sont, ainsi qu'on le verra plus bas, sensiblement constants et ne varient pas dans des limites fort étendues, eu égard à l'incertitude inévitable dans ce genre d'observations. En outre, ce rapport est constant, quelle que soit l'intensité du courant inducteur : il en résulte que l'intensité du courant induit est, toutes choses égales, proportionnelle à celle du courant influent.

Les tableaux suivants renferment différentes séries d'expériences qui établissent ces divers résultats pour le courant direct.

TABLEAU I.

Système inducteur. Fil de $2^{mm},48$ en diamètre, de $9^{m},80$ en longueur, plié en rectangle.

Système induit. Fil semblable au précédent, disposé parallèlement. La distance des axes des fils égale environ 3 millimètres.

Hélices du fil de $0^{mm},28$.

DURÉE D'UNE OSCILLATION DE L'AIGUILLE SOUMISE AU COURANT		RAPPORTS.	OBSERVATION.
induit.	inducteur.		
1″,96	0″,93	0,474	La déviation de l'aiguille d'une bousole de sinus placée dans le circuit inducteur, était, dans chaque cas, au moment de la rupture du circuit, de 17°.
1 ,39	0 ,73	0,525	
1 ,88	0 ,96	0,510	
1 ,85	0 ,85	0,459	
2 ,16	1 ,15	0,532	
1 ,86	0 ,96	0,516	
2 ,38	1 ,08	0,453	
2 ,40	1 ,10	0,458	
1 ,10	0 ,55	0,500	
2 ,05	1 ,00	0,488	
Moyenne.....		0,491	

TABLEAU II.

Mêmes systèmes que dans le tableau I, éloignés l'un de l'autre de manière que la distance des axes soit d'environ 6 millimètres.

DURÉE D'UNE OSCILLATION DE L'AIGUILLE SOUMISE AU COURANT		RAPPORTS.	DÉVIATION.
induit.	inducteur.		
2″,40	1″,17	0,487	
2 ,60	0 ,98 +	0,376 +	
2 ,25	0 ,91	0,404	
1 ,86	0 ,88	0,473	
2 ,48	1 ,13	0,455	12°
1 ,80	0 ,75	0,416	
4 ,00	1 ,67	0,417	
1 ,70	0 ,78	0,458	
2 ,80	1 ,26	0,450	
2 ,50	1 ,06	0,424	
Moyenne.....		0,436	

TABLEAU III.

Système inducteur. Fil de $0^{mm},64$ en diamètre, recouvert de soie, de 11 mètres de longueur, plié en hélice autour d'un tube de verre de 15 millimètres environ de diamètre.

Système induit. Fil un peu plus long que le précédent, l'enveloppant.
Hélices du fil de $0^{mm},28$.

DURÉE D'UNE OSCILLATION DE L'AIGUILLE SOUMISE AU COURANT		RAPPORTS.	DÉVIATION.
induit.	inducteur.		
1″,70	1″,23	0,723	13°
1 ,70	1 ,15	0,676	11° ½
1 ,90	1 ,50	0,789	»
1 ,36	0 ,96	0,705	10°
1 ,97	1 ,50	0,761	»
2 ,35	1 ,79	0,761	9°
2 ,10	1 ,63	0,776	»
2 ,65	1 ,95	0,735	»
1 ,54	1 ,04	0,675	»
1 ,95	1 ,53	0,784	»
Moyenne.....		0,738	

TABLEAU IV.

On a enroulé successivement autour d'un tube de verre trois fils de $0^{mm},64$ en diamètre, et de 11 à 12 mètres en longueur, comme dans le tableau III. On a pris pour système induit l'hélice centrale, et pour système inducteur la double hélice formée en réunissant les deux autres fils par les extrémités d'un même côté.

DURÉE D'UNE OSCILLATION DE L'AIGUILLE SOUMISE AU COURANT		RAPPORTS.	DÉVIATION.
induit.	inducteur.		
$0'',91$	$0'',64$	0,703	16°
0 ,85	0 ,62	0,729	»
1 ,22	0 ,84	0,688	»
0 ,86	0 ,57	0,662	»
1 ,30	0 ,92	0,707	»
1 ,16	0 ,78	0,672	»
1 ,62	1 ,13	0,697	14°
1 ,53	1 ,04	0,680	13°
2 ,35	1 ,65	0,702	$8°\frac{1}{2}$
2 ,74	1 ,91	0,696	»
2 ,60	1 ,82	0,700	»
1 ,80	1 ,30	0,722	»
2 ,52	1 ,80	0,714	»
3 ,85	2 ,54	0,659	$6°\frac{1}{2}$
2 ,02	1 ,43	0,707	»
3 ,20	2 ,21	0,690	»
2 ,35	1 ,63	0,693	»
Moyenne		0,695	

TABLEAU V.

On a enroulé autour d'un tube de verre quatre fils comme dans le tableau IV; on a pris pour système induit le premier et le troisième en commençant par le plus intérieur, et pour système inducteur les deux autres.

Hélices du fil de $0^{mm},28$.

DURÉE D'UNE OSCILLATION DE L'AIGUILLE SOUMISE AU COURANT		RAPPORTS.	DÉVIATION.
induit.	inducteur.		
2″,85	2″,13	0,747	4° 30′
2 ,65	1 ,92	0.724	»
3 ,73	2 ,65	0,710	»
3 ,00	2 ,20	0,733	»
4 ,70	3 ,40	0,723	»
2 ,40	1 ,73	0,720	5.45
3 ,40	2 ,60	0,764	»
2 ,38	1 ,79	0,752	»
2 ,73	2 ,10	0,769	»
2 ,09	1 ,53	0,732	»
1 ,53	1 ,06	0,692	8.30
1 ,60	1 ,15	0,718	»
1 ,62	1 ,15	0,709	»
1 ,41	1 ,02	0,723	»
2 ,15	1 ,60	0,744	»
Moyenne.....		0,730	

TABLEAU VI.

Système inducteur. — Spirale plane (1) de 22 tours, de $8^{m},15$ en longueur, formée avec du fil de cuivre de $0^{mm},64$.

Système induit. — Spirale plane du même fil, de 11 tours et de $5^{m},13$ de longueur. La distance des spirales est d'environ 5 millimètres.

Hélices du fil de $0^{mm},64$.

DURÉE D'UNE OSCILLATION DE L'AIGUILLE SOUMISE AU COURANT		RAPPORTS.	DÉVIATION.	INTENSITÉ correspondante.	OBSERVATIONS.
induit.	inducteur.				
"	"				
0,58	0,51	0,879	36°	0,588	
0,69	0,54	0,782	»	»	
0,58	0,52	0,896	»	»	
0,75	0,63	0,840	»	»	
0,78	0,62	0,794	»	»	
0,80	0,68	0,850	21	0,358	
1,06	0,96	0,905	»	»	
0,91	0,79	0,868	»	»	
1,73	1,54	0,890	»	»	
0,91	0,77	0,846	»	»	
1,55	1,39	0,896	11	0,191	
1,32	1,21	0,931	»	»	
1,79	1,45	0,810	»	»	
2,11	1,65	0,782	»	»	
1,44	1,30	0,902	»	»	
Moyenne.....		0,858			
0,85	0,69	0,812	15		On a remplacé, pour cette série, les hélices du fil de $0^{m},64$ par deux du fil de $0^{m},28$: celle du circuit inducteur était plus énergique que l'autre dans le rapport de 1,07 à 1.
0,97	0,80	0,824	»		
0,66	0,50	0,757	»		
1,27	1,03	0,811	»		
Moyenne.....		0,801			
Correction faite..		0,857			

(1) Ces spirales (*Pl. I, fig.* 2) se forment sans difficulté et très-régulièrement avec des planchettes de 4 à 5 millimètres d'épaisseur, de 15 à 20 centimètres de côté, que l'on travaille au tour, de manière à obtenir sur l'une des faces une partie cylindrique AB (*fig.* 1) de 8 à 10 centimètres de diamètre, de 1 à 2 millimètres de hauteur. Il suffit d'enrouler le fil d'abord autour de la partie cylindrique, et ensuite autour du premier, deuxième, troisième... tour successivement, en le fixant avec de la cire à cacheter.

Ces expériences suffisent pour donner une idée de la précision que l'on peut espérer dans ce genre d'observations. Quelle que soit la disposition des systèmes induit et inducteur, qu'ils soient formés d'un ou de plusieurs fils, de longueurs égales ou inégales, le rapport des durées d'oscillation d'une même aiguille soumise successivement à chacun des deux courants reste à peu près constant. Dans les tableaux précédents les différences des valeurs extrêmes à la valeur moyenne s'élèvent en général à un quinzième, rarement à un dixième de celle-ci.

Les expériences suivantes établissent que lorsqu'on fait varier l'intensité du courant inducteur dans des limites plus étendues que dans les tableaux IV, V, VI, le rapport des deux durées d'oscillation reste encore constant.

TABLEAU VII.

Système inducteur. Spirale plane de 16 tou
6^{m},08 de longueur, faite avec du fil de 1^{mm},24 en di
Système induit. Spirale plane de 8 tours, de 2
long, faite avec un fil de 2^{mm},48 en diamètre.

15^{mm} de distance entre les spirales. Hélices d
0^{mm},64.

DURÉE D'UNE OSCILLATION DE L'AIGUILLE SOUMISE AU COURANT		DÉVIATION.	INTENSITÉ correspondante.	OBSERVATION
induit.	inducteur.			
1″,20	1″,13	40°	0,643	Il suffit de compare
1 ,08	1 ,06	38	0,616	rées d'oscillation pou
1 ,22	1 ,19	»	»	naître que le rapport
1 ,16	1 ,09	32	0,530	peu différent de l'unit
1 ,31	1 ,24	»	»	
1 ,53	1 ,50	29	0,485	
1 ,50	1 ,49	»	»	
1 ,61	1 ,55	25	0,423	
1 ,83	1 ,73	»	»	
1 ,70	1 ,65	22	0,375	
1 ,90	1 ,86	»	»	
2 ,95	2 ,65	17	0,292	
2 ,40	2 ,39	»	»	
2 ,58	2 ,43	14.30′	0,250	
2 ,66	2 ,53	12	0,208	
1 ,47	1 ,45	11.30	0,199	
3 ,36	3 ,28	9.30	0,165	
1 ,80	1 ,70	»	»	
1 ,50	1 ,50	6.30	0,113	

Les observations sur les courants inverses conduisent à la même conclusion. Néanmoins elles exigent plus de soins que celles relatives aux courants directs pour s'assurer de la constance du courant inducteur, et aussi parce que celui-ci restant le même, le courant inverse est moindre que le direct correspondant, lorsque le fil induit est d'un petit diamètre. On obtient cependant encore des valeurs constantes. Il est d'ailleurs facile de modifier les appareils de manière à obtenir un courant inverse qui ne soit pas trop faible par rapport à l'inducteur.

TABLEAU VIII.

Mêmes systèmes qu'au tableau III.

DURÉE D'UNE OSCILLATION DE L'AIGUILLE SOUMISE AU COURANT		RAPPORTS.	OBSERVATIONS.
induit.	inducteur.		
2″,40	1″,34	0,558	La déviation de l'aiguille, arrêtée après avoir fermé le circuit, était d'environ 10°.
2 ,15	1 ,11	0,516	
2 ,67	1 ,40	0,524	
1 ,32	0 ,68	0,515	
2 ,39	1 ,30	0,543	
2 ,46	1 ,08 +	0,440 +	
3 ,30	1 ,53	0,463	
Moyenne.....		0,503	

TABLEAU IX.

Système inducteur. Comme au tableau VII.

Système induit. Spirale égale à la précédente et superposée à celle-ci. Hélices du fil de $0^{mm},64$.

DURÉE D'UNE OSCILLATION DE L'AIGUILLE SOUMISE AU COURANT		RAPPORTS.	OBSERVATIONS.
induit.	inducteur.		
1″,12	0″,80	0,714	
1 ,20	0 ,83	0,691	
1 ,13	0 ,80	0,707	
1 ,08	0 ,77	0,681	
0 ,93	0 ,66	0,709	
1 ,85	1 ,26	0,681	
1 ,80	1 ,25	0,694	
Moyenne.....		0,696	

TABLEAU X.

lêmes systèmes qu'au tableau V.

DURÉE D'UNE OSCILLATION DE L'AIGUILLE SOUMISE AU COURANT		RAPPORTS.	OBSERVATION.
induit.	inducteur.		
1",00	0",72	0,725	On n'a pas noté la déviation de l'aiguille de la boussole pour les diverses observations comprises dans le tableau ; mais il suffit de comparer les durées d'oscillations de la deuxième colonne pour reconnaître que le courant inducteur a varié à peu près dans le rapport de trois à l'unité.
0 ,87	0 ,62	0,712	
0 ,95	0 ,71	0,747	
1 ,07	0 ,75	0,705	
1 ,18	0 ,88	0,745	
1 ,20	0 ,86	0,717	
0 ,67	0 ,48	0,716	
0 ,74	0 ,54	0,729	
0 ,80	0 ,56	0,700	
0 ,61	0 ,45	0,737	
0 ,70	0 ,51	0,728	
0 ,61	0 ,46	0,754	
0 ,49	0 ,37	0,755	
1 ,75	1 ,28	0,731	
1 ,77	1 ,27	0,717	
1 ,83	1 ,37	0,748	
2 ,40	1 ,80	0,750	
Moyenne.....		0,730	

es diverses expériences rapportées dans les tableaux qui èdent suffisent pour établir que l'on peut arriver par ploi de cette méthode d'observation à des résultats cons-. Elles démontrent de plus que l'intensité de chades courants induits est proportionnelle à celle de ucteur.

our analyser l'influence qu'exercent la longueur, la nce, le diamètre et la disposition des fils, il suffit d'exaer comment varie dans chaque cas l'intensité du courant

induit, déterminée par la méthode d'expérience précédemment indiquée. Il serait inutile de rapporter les séries d'observations; je dirai seulement que j'ai toujours fait quatre ou cinq expériences au moins pour obtenir chaque valeur, et un plus grand nombre lorsque les premiers résultats s'écartaient trop de leur valeur moyenne.

Lorsque les longueurs des fils induit et inducteur sont égales, l'intensité de chacun des courants induits en est sensiblement indépendante, du moins lorsque cette longueur dépasse une certaine limite, variable avec la portion du circuit induit qui n'est pas soumise à l'induction. J'ai trouvé, par exemple, 0,34 pour le courant direct, en employant deux fils de $0^{mm},28$ sur une longueur de $1^{m},67$, pliés en rectangle et très-rapprochés partout; et 0,30 avec deux autres fils de même diamètre, mais de 11 mètres de longueur, semblablement disposés. L'inverse était très-petit dans les deux cas. Deux fils de $0^{mm},64$, de $1^{m},67$ de longueur dans une série d'expériences, de $3^{m},10$ dans une autre, en ligne droite, ont donné, pour l'intensité du courant direct, 0,334 dans le premier cas, et 0,402 dans le second. En repliant ces deux mêmes fils autour d'un morceau de bois de 4 centimètres carrés de section, j'ai obtenu 0,675, valeur plus grande que dans le cas où les fils étaient en ligne droite, parce que chaque élément du fil inducteur agissait sur un plus grand nombre d'éléments du fil induit. On a trouvé, ainsi qu'on l'a vu dans le tableau III, 0,738 pour le même courant avec deux fils de même grosseur et de 11 mètres de long, repliés autour d'un tube de verre.

Deux spirales planes du même fil, de 5 mètres de longueur chacune, ont donné 0,701 pour le courant direct, et l'on a trouvé 0,691 avec deux autres spirales, à la même distance que les précédentes, mais ayant chacune 8 mètres de long.

Les diverses parties des deux systèmes n'étaient peut-être pas dans ces divers cas disposées de la même manière; mais

ainsi qu'on le verra plus loin, l'inégalité très-petite qui pouvait avoir lieu dans la distance a dû exercer fort peu d'influence, et les longueurs ont varié dans un rapport assez grand pour qu'on en puisse conclure que cet élément n'a qu'un effet très-faible dans les circonstances indiquées.

Si, au contraire, conservant le même système inducteur, on diminue le système induit, ou bien si, la longueur de ce dernier restant constante, on allonge le système inducteur, en le disposant toujours néanmoins de manière que les parties ajoutées puissent agir sur le fil induit, ce qui se fait aisément en les pliant sous forme d'hélices ou de spirales planes, l'intensité du courant induit augmente, et l'on peut ainsi obtenir avec des appareils peu compliqués des courants induits assez intenses pour qu'on puisse en apprécier exactement l'intensité. Les effets sont inverses lorsque les variations de longueur ont lieu en sens opposé.

Je crois devoir présenter ici le détail d'expériences qui, en même temps qu'elles établissent certaines propriétés des courants induits, peuvent être regardées comme une confirmation de la méthode expérimentale employée pour mesurer leur intensité. L'effet d'induction doit probablement varier suivant une loi simple avec le nombre des éléments du système inducteur qui agissent sur le fil induit: il est évident de plus que la quantité totale d'électricité induite doit se partager également entre les diverses parties du fil induit, lorsqu'elles sont disposées d'une manière semblable, par rapport au système inducteur. Si l'expérience confirme sur ces divers points les indications de la théorie, on en pourra déduire la conséquence que le procédé est exact.

Or, en premier lieu, l'observation démontre que, l'intensité du courant inducteur restant constante, l'effet total croit proportionnellement au nombre de ses éléments, et

que pour chacun d'eux il est indépendant de la section, en d'autres termes, en raison directe de la quantité d'électricité qui le traverse.

Pour vérifier cette propriété avec toute l'exactitude possible, j'ai formé une spirale inductrice avec quatre fils de $0^{mm},64$, égaux en longueur, entortillés les uns avec les autres et séparés par de la soie. On pouvait faire passer à volonté le courant par chacun des fils que j'appellerai (1), (2), (3), (4), les autres restant ouverts; ou bien par (1) (2), par (1) (2) et (3), etc., en le faisant entrer simultanément par les extrémités d'un même côté, ce qui donnait des spirales de même nombre de tours, mais de section double, triple, etc. En le faisant passer au contraire successivement de (1) dans (2), de (1) dans (2) et de (2) dans (3), etc., de manière qu'il les parcourût dans le même sens, on obtenait des spirales de même section, mais d'un nombre de tours double, triple, etc., et disposées toujours semblablement par rapport au système induit.

Si l'on fait varier la section seule de la spirale inductrice, en conservant le même nombre de tours, l'intensité du courant induit, estimée en prenant celle de l'inducteur pour unité, reste constante. Ainsi, j'ai trouvé dans une série d'expériences, en faisant varier successivement la section du fil inducteur comme les nombres 1, 2, 3, 4, les quatre valeurs suivantes du courant induit: 0,544; 0,572; 0,520; 0,525. La section n'a donc pas d'influence. On peut encore s'en assurer d'une autre manière plus simple, en soumettant l'aiguille aux deux courants induits dans un même fil par deux spirales de sections différentes, le courant inducteur étant le même dans les deux cas, condition à laquelle on satisfait aisément en diminuant convenablement le plus énergique. Quelle que soit celle des deux spirales par laquelle on commence, la durée d'oscillation de l'aiguille ne change pas.

Si l'effet croît proportionnellement au nombre de tours

de la spirale inductrice, les courants induits développés par le fil (1) et par le système (1) et (2) [le courant passant de (1) dans (2)], devront être dans le rapport de un à deux, le courant inducteur restant le même dans les deux cas. Ils devront être dans celui de deux à trois, ou de trois à quatre, si l'on prend successivement deux et trois fils, trois et quatre fils pour système inducteur. Or, en soumettant une même aiguille aux deux courants induits, on trouve que tel est sensiblement le rapport des durées d'oscillations. Voici du reste les valeurs que l'expérience m'a données :

SYSTÈMES inducteurs.	RAPPORT observé.	RAPPORT théorique.	DIFFÉRENCES.
Fil (1) / (1), (2)	1,96	2,00	— 0,04
(1), (2) / (1), (2), (3)	1,46	1,50	— 0,04
(1), (2), (3) / (1), (2), (3), (4)	1,35	1,33	+ 0,02
(1), (2) / (1), (2), (3), (3)	1,86	2,00	— 0,14

La différence entre l'observation et le calcul est assez petite pour qu'on puisse regarder la loi comme rigoureuse. Ces observations offrent de plus une vérification du principe qui sert de base à la méthode employée pour mesurer l'intensité des courants induits : elles permettent de la contrôler, de décider dans quelles limites on peut s'en servir avec confiance et comment elle doit être modifiée lorsqu'on a lieu de craindre qu'elle ne donne pas de résultats assez exacts. En effet, d'après ces observations, le rapport observé des deux courants diffère fort peu du vrai rapport lorsque le quotient du plus petit par le plus grand n'est

pas inférieur à 0,50. Si l'on prend successivement pour système inducteur un fil et trois fils, un fil et quatre fils, on trouve que le rapport des deux durées d'oscillations est sensiblement plus grand, dans le premier cas, que 0,33, et dans le second que 0,25. Ceci est d'accord avec les conséquences auxquelles j'ai été conduit dans mon travail sur l'aimantation par les courants. J'ai trouvé en effet qu'en employant des hélices du fil de $0^{m},64$, le produit de l'intensité par la durée d'une oscillation croît en général lorsqu'on passe d'une faible intensité à une autre trois ou quatre fois plus forte que la première. Le rapport de la première à la deuxième doit donc être moindre que celui des deux durées d'oscillation correspondantes.

En employant des hélices du fil de $0^{mm},28$ et des aiguilles de $0^{mm},5$ à $0^{mm},6$ sur 15 millimètres environ de longueur, je devais trouver moins de différence entre l'observation et la théorie : c'est ce que l'expérience confirme parfaitement. Voici les valeurs que j'ai obtenues en opérant comme il a été dit plus haut, mais avec une hélice de fil fin.

SYSTÈMES inducteurs.	RAPPORT observé.	RAPPORT théorique.	DIFFÉRENCES.
Fil (1) / (1), (2)	0,55	0,50	+ 0,05
(1) / (1), (2), (3)	0,35	0,33	+ 0,02
(1) / (1), (2), (3), (4)	0,26	0,25	+ 0,01
(1), (2) / (1), (2), (3)	0,68	0,67	+ 0,01
(1), (2) / (1), (2), (3), (4)	0,53	0,50	+ 0,03
(1), (2), (3) / (1), (2), (3), (4)	0,75	0,75	0,00

Les expériences sur les courants inverses s'accordent avec la même loi.

L'intensité de chacun des courants induits est donc proportionnelle au nombre des éléments du système inducteur, et le principe de la méthode est exact seulement lorsqu'on emploie des hélices du fil de $0^{mm},64$; si le rapport des durées d'oscillations est inférieur à 0,40 , on peut le regarder comme supérieur au vrai rapport des deux courants correspondants : il lui est au contraire inférieur si l'on divise la plus grande durée par la plus petite.

Si l'on prend au contraire la même spirale de quatre fils pour induite, ces fils étant égaux et disposés de la même manière par rapport au système inducteur, les quantités d'électricité développées dans chacun d'eux devront être égales, et il est présumable que le courant total est dans ce cas la somme des courants partiels qui traversent chacun des fils : si quelques-uns seulement communiquent avec les extrémités de l'hélice dans laquelle on place les aiguilles à aimanter, l'intensité du courant induit devra varier proportionnellement à leur nombre, pourvu que les autres forment un circuit fermé.

Le courant inducteur étant pris pour unité, j'ai trouvé les valeurs suivantes pour le courant direct induit dans un, deux, trois fils, les autres étant fermés :

Dans un seul fil, en prenant le fil....	(1)	0,500
	(2)	0,498
	(3)	0,509
	Moyenne.....	0,502
Dans deux fils, en prenant.....	(1), (2)	1,115
	(2), (3)	1,102
	(1), (3)	1,105
	Moyenne.....	1,107
Dans trois fils, en prenant...	(1), (2), (3)	1,663
	(2), (3), (4)	1,656
	(1), (3), (4)	1,586
	Moyenne.....	1,635
Dans les quatre fils.....		2,131

Ces quatre valeurs sont, comme on voit, à fort peu près dans le rapport des nombres 1, 2, 3, 4.

J'ai trouvé de même qu'en prenant l'inducteur pour unité, les valeurs du courant inverse développé dans un, deux, trois, quatre fils, les autres étant fermés, étaient respectivement :

0,325, 0,664, 0,959, 1,472.

Ces nombres, à l'exception du dernier qui est trop fort, sont dans le même rapport que les premiers.

J'ai cherché à vérifier la même propriété en prenant directement le rapport des deux courants que l'on obtient lorsqu'on fait communiquer successivement avec les extrémités de l'hélice un fil et deux fils, un fil et trois fils, etc., les autres formant un circuit fermé, et l'intensité du courant inducteur restant exactement la même dans les deux expériences à comparer.

Voici les valeurs obtenues :

SYSTÈMES induits.	RAPPORT observé des deux courants directs.	RAPPORT théorique.	DIFFÉRENCES.	OBSERVATIONS.
Fil (1) (1),	0,54	0,50	+ 0,04	On a employé une hélice du fil de $0^{mm},28$.
(1) (1), (2), (3)	0,35	0,33	+ 0,02	
(1) (1), (2), (3), (4)	0,24	0,25	— 0,01	
(1), (2) (1), (2), (3)	0,60	0,67	— 0,07	
(1), (2), (3) (1), (2), (3), (4)	0,69	0,75	— 0,06	

Avec une spirale de cinq fils de $0^{mm},28$, j'ai trouvé, en

prenant trois et cinq fils, quatre et cinq fils, 0,607 et 0,804 pour le rapport des deux courants. Les valeurs théoriques 0,600 et 0,800 en diffèrent à peine.

La différence entre l'observation et la théorie pour les deux dernières expériences du tableau ci-dessus est plus grande qu'on ne la trouve ordinairement lorsque les deux courants sont l'un à l'autre dans un rapport moindre que celui de deux à l'unité. Néanmoins j'ai cru devoir les rapporter, parce que la propriété peut être regardée comme vérifiée, et qu'elles sont propres à fixer le degré de précision que comporte la méthode d'observation qui peut donner des valeurs supérieures ou inférieures d'un dixième aux valeurs véritables.

Je dois mentionner aussi que toutes les fois que j'ai voulu faire des expériences analogues avec une spirale de plusieurs fils et d'un seul tour, j'ai constamment observé que la quantité de l'électricité fournie par un, deux, trois fils était plus grande que ne l'indiquait la théorie. Au lieu de trouver, par exemple, 0,750 pour le rapport des deux courants induits quand on en prenait successivement trois et quatre, j'ai obtenu des nombres compris entre 0,85 et 0,90. Je ne crois pas qu'il faille en conclure que la méthode est inexacte, puisqu'elle s'accorde avec l'observation dans beaucoup d'autres cas : je ferai seulement observer que les fils ayant une longueur peu considérable, il ne serait pas impossible que la réaction qui s'exerce entre eux, comme nous le verrons plus loin, eût lieu non-seulement dans les parties soumises à l'induction, mais aussi dans le lieu de leur réunion. On concevrait ainsi pourquoi le courant induit paraît plus énergique lorsqu'on retire un ou plusieurs fils. La même chose n'aurait pas lieu dans le cas d'une spirale de plusieurs tours, parce qu'alors la réaction des fils à l'endroit de leur réunion serait négligeable par rapport à celle qui a lieu entre les parties induites.

Hélices de $0^{mm},64$.

DIAMÈTRE du fil induit.	LONGUEUR de la partie induite.	LONGUEUR totale du circuit induit, y compris l'hélice, quand aucun fil n'est interposé.	FIL INTERPOSÉ.		RAPPORT inverse des longueurs absolues.	RAPPORT des deux courants induits.	
			Diamètre.	Longueur.		directs.	inverses.
$0^{mm},64$	$5^{m},13$	$6^{m},03$	$0^{mm},64$	$0^{m},80$	0,883	»	0,866
»	»	»	$0^{mm},28$	0 ,10	0,983	»	0,912
»	»	»	»	0 ,50	0,923	»	0,781
»	»	»	»	1 ,00	0,857	0,793	»
$2^{mm},48$	$3^{m},68$	3 ,98	»	0 ,40	0,905	0,935	0,779
»	»	»	»	0 ,80	0,827	0,852	0,613
»	3 ,60	3 ,90	»	0 ,40	0,907	0,914	0,830
»	»	»	»	0 ,80	0,829	0,854	0,695
»	6 ,77	7 ,80	$2^{mm},48$	1 ,30	0,857	0,889	0,916
»	»	»	»	3 ,68	0,679	0,715	0,693
»	»	»	$1^{mm},40$	1 ,00	0,886	0,941	0,930
»	»	»	1 ,24	5 ,00	0,609	0,605	0,487
»	»	»	0 ,64	1 ,58	0,831	0,780	0,687
»	»	»	0 ,28	1 ,00	0,886	0,669	0,313
»	»	»	»	4 ,00	0,661	0,533	»

Les observations suivantes démontrent que les courants induits conservent les mêmes propriétés lorsque la longueur du fil soumis à l'induction est très-petite par rapport au circuit total. Elles ont été faites avec une spirale d'un seul tour, formée de dix fils du diamètre de $0^{mm},64$, recouverts de soie, entortillés les uns avec les autres sans communication métallique. Cette disposition permettait de prendre à volonté un ou plusieurs fils pour système induit, et de reconnaître pour un même fil intercalé dans le circuit à quelle limite la diminution d'intensité du courant était plus rapide que suivant la raison inverse de la longueur du circuit.

Longueur de la partie induite.....	$0^{m},38$
Longueur des bouts qui aboutissent aux extrémités de l'hélice.....	$0^{m},29$
Longueur de l'hélice.....	$0^{m},30$
Longueur totale du circuit.....	$0^{m},97$

NOMBRE des fils du système induit.	FIL INTERCALÉ. Diamètre.	FIL INTERCALÉ. Longueur.	RAPPORT inverse des longueurs.	RAPPORT des deux courants induits. directs.	RAPPORT des deux courants induits. inverses.
1	$0^{mm},64$	$0^{m},90$	0,518	0,530	»
»	$1^{mm},24$	0 ,90	»	0,520	»
»	$2^{mm},48$	1 ,30	0,427	0,530	»
3	0 ,64	0 ,90	0,518	0,503	0,482
»	»	0 ,42	0,700	»	0,679
»	1 ,24	0 ,90	0,518	0,468	»
4	0 ,64	0 ,42	0,700	»	0,640
»	»	0 ,90	0,518	»	0,470
5	»	0 ,42	0,700	»	0,619
»	»	0 ,90	0,518	0,473	0,426
10	»	0 ,42	0,700	0,656	0,568
»	»	0 ,90	0,518	0,463	»

Il résulte de ces observations que pour déduire de l'intensité observée du courant direct celle du courant qui traverserait la portion du circuit soumise à l'induction si celle-ci formait un circuit fermé, il faut multiplier le nombre observé par le rapport de la longueur totale du circuit à celle de la partie induite. La correction est la même pour le courant inverse lorsque les fils interposés dans le système induit ont une section qui n'est pas moindre que le tiers ou le quart de celle du fil induit : elle est plus forte dans le cas contraire, et d'autant plus que la section du fil interposé est plus petite. Si, le fil induit étant d'un gros diamètre, on

détermine la valeur de chacun des courants induits en employant successivement des hélices du fil de $0^{mm},28$ et de $0^{mm},64$, on doit s'attendre à trouver des valeurs à peu près égales pour le courant direct, et très-différentes pour l'inverse. C'est aussi ce que l'expérience confirme. Le diamètre du fil induit étant, par exemple, $2^{mm},48$, on trouve à peu près les mêmes nombres pour le courant direct, et pour le courant inverse des valeurs moindres dans un cas, un peu plus fortes dans l'autre, que pour le direct correspondant : de sorte que si l'on n'avait pas égard à la différence des corrections, on pourrait se tromper beaucoup sur la loi suivant laquelle croît l'effet d'induction à mesure que le diamètre du fil induit augmente. J'indiquerai, lorsque le cas se présentera, le moyen que j'ai employé pour déterminer au moins approximativement la correction à faire subir aux valeurs observées.

Influence de la distance.

Il est aisé de s'assurer, soit avec des fils droits, soit avec des spirales, que l'induction diminue à mesure que le système induit s'éloigne du système inducteur. Mais il est presque indispensable de recourir à des spirales pour déterminer la loi du décroissement, parce qu'en donnant un nombre suffisant de tours à l'inductrice, on peut obtenir un courant induit assez énergique pour en déterminer la valeur avec précision, lorsque les spirales sont très-éloignées l'une de l'autre.

Pour évaluer le rapport des courants développés dans le fil induit placé à deux distances différentes de l'inducteur, on peut déterminer dans chaque cas le courant induit au moyen du courant inducteur pris pour unité; ou bien soumettre la même aiguille successivement aux deux courants induits en commençant par le plus faible. Le rapport des durées d'oscillations de l'aiguille donne immédiatement le rapport des deux courants : il suffit de le comparer avec celui des distances. J'ai employé tantôt l'une, tantôt l'autre

de ces méthodes, quelquefois toutes les deux. Tous les résultats que j'ai obtenus s'accordent à établir que l'intensité du courant induit décroît à mesure que la distance augmente suivant une loi qui est la même pour les deux courants et telle que l'effet d'induction varie sensiblement, en raison inverse, d'abord de la racine carrée de la distance, ensuite de la simple distance.

Le tableau suivant renferme les résultats d'un certain nombre d'expériences faites pour étudier l'influence de la distance. Les valeurs marquées d'un astérisque ont servi à calculer les nombres des deux dernières colonnes : on a choisi en général celles qui diffèrent peu de l'unité, parce qu'on peut compter davantage sur leur exactitude.

NOMBRE de tours de la spirale inductrice.	NOMBRE de tours de la spirale induite.	DIAMÈTRE du fil de celle-ci.	DISTANCE des spirales.	INTENSITÉ observée en prenant l'inducteur pour unité.	INTENSITÉ DU COURANT CALCULÉE	
					d'après la raison inverse de la racine carrée de la distance.	d'après raison i de la s distan
45	11	0mm,64	3mm,0	2,060	2,318	»
»	»	»	6 ,0	1,608	1,646	»
»	»	»	13 ,0	1,120	1,120*	»
»	»	»	25 ,0	0,609	»	0,58
»	»	»	34 ,0	0,415	»	0,42
»	»	»	45 ,0	0,303	»	0,32
»	22	»	3 ,5	1,080	1,535	»
»	»	»	6 ,0	0,950	0,950*	»
»	»	»	12 ,5	0,752	0,655	0,7
»	»	»	25 ,5	0,388	»	0,3
16	8	2mm,48	5 ,0	1,400	1,576	»
»	»	»	15 ,0	0,911	0,911*	»
»	»	»	27 ,0	0,603	0,674	0,5
»	»	»	46 ,0	0,317	»	0,2
11	5	»	6 ,0	1,380	1,378	»
»	»	»	15 ,0	0,930	0,952	»
»	»	»	19 ,0	0,888	0,851	0,8
»	»	»	23 ,0	0,774	0,774*	
»	»	»	36 ,0	0,578	»	0,4
»	»	»	46 ,0	0,445	»	0,3
»	»	»	67mm,0	0,325	»	0,2

L'accord est moins grand pour les très-grandes ou tr
petites distances que pour les autres : cela tient d'une p
à ce qu'il est difficile de déterminer avec exactitude la d
tance des plans des spirales lorsqu'elle est petite, et une p
tite erreur dans cette détermination en cause une gran
dans le résultat du calcul, et d'autre part à ce que le ra

port des deux courants comporte plus d'incertitude à mesure qu'il diffère davantage de l'unité. Néanmoins la comparaison des nombres des trois dernières colonnes confirme en général ce que j'ai dit plus haut

Lorsque la spirale induite a un grand nombre de tours, il est visible que les variations de distance n'ont pas lieu dans le même rapport pour les différents éléments; et comme on observe, dans le cas où les spirales sont très-éloignées, que l'effet d'induction diminue en raison inverse de la distance, on peut demander si telle n'est pas la loi du phénomène toutes les fois que les deux systèmes sont assez éloignés pour que les distances de leurs divers éléments soient sensiblement les mêmes. Dans le but de décider cette question, j'ai formé une spirale inductrice de huit tours seulement, du fil de $0^{mm},28$, très-rapprochés les uns des autres et occupant un espace de 4 millimètres au plus: j'ai pris une spirale induite d'un seul tour, du fil de $1^{mm},24$; celle-ci était, comme à l'ordinaire, fixée sur une planchette attachée à un long tube de verre uni solidement à une règle micrométrique verticale. Les deux spirales étant horizontales, on pouvait, à l'aide de la règle, amener l'induite à des distances bien connues et toujours les mêmes de l'inductrice, et déterminer directement le rapport des deux courants développés à ces deux distances dans le fil induit, en soumettant une même aiguille à leur action. Le diamètre de la spirale d'un seul tour était égal au diamètre moyen de l'autre, et il est facile de voir que lorsque l'intervalle des plans des deux spirales était égal ou supérieur à 8 millim., les distances des divers éléments variaient sensiblement dans le même rapport.

DISTANCES des deux spirales pour chaque couple d'observations.	RAPPORT de ces deux distances.	RACINE carrée de ce rapport.	RAPPORT observé des deux courants directs.
5^{m},2 2 ,7	1,92	1,38	1,21
7 ,7 5 ,2	1,48	1,21	1,23
12 ,5 7 ,5	1,66	1,29	1,31
15 7	2,14	1,46	1,53
25 15	1,66	1,29	1,47

Chaque nombre rapporté dans la dernière colonne est moyenne de cinq observations peu différentes les unes autres : la variation en raison inverse de la simple distan n'a donc pas lieu seulement lorsque les éléments sont ass éloignés les uns des autres pour que leurs distances m tuelles varient dans un même rapport : la véritable loi phénomène est plus compliquée.

L'effet d'induction décroissant de plus en plus rapid ment à mesure que la distance augmente, ne pourrait pas arriver que pour des distances plus considérables, l'i tensité diminuât en raison inverse du carré de la distanc Il m'aurait été difficile de décider cette question en cons vant la même spirale inductrice, parce que le courant minue rapidement, à cause de la petitesse du diamètre fil : je l'ai remplacée par une de 11 tours du fil de 0^{mm},6 l'espace occupé par les 11 tours était d'environ 1 cen mètre, et j'ai fait une série d'observations semblable à précédente : en voici les résultats.

DISTANCE des plans des spirales pour chaque couple d'observations.	RAPPORT de ces distances.	RACINE carrée de ce rapport.	RAPPORT observé des deux courants directs.
15mm 5	3,00	1,73	1,62
25 15	1,66	1,29	1,66
30 25	1,20	»	1,20
42 30	1,40	»	1,49
60 40	1,50	»	1,54

La dernière loi se vérifie sensiblement jusqu'aux plus grandes distances où l'observation peut s'étendre : au delà, on ne peut plus déterminer le rapport des deux courants avec une exactitude suffisante.

Les expériences sur les fils droits confirment celles faites avec les spirales, c'est-à-dire que l'effet d'induction décroît peu rapidement à mesure que l'intervalle des fils augmente ; mais on n'en pourrait rien conclure pour la loi du phénomène, à cause du peu d'intensité des courants induits, lors même que le fil induit est d'un gros diamètre.

On peut vérifier que la loi du décroissement est la même pour le courant inverse que pour le courant direct, par des expériences analogues faites sur le premier. On peut aussi évaluer le rapport des deux courants induits pour des distances différentes des deux systèmes inducteurs, et l'on trouve que ce rapport est constant. J'ai opéré de deux manières, et l'on peut lire dans le tableau suivant les valeurs du rapport des deux courants pour différentes spirales pla-

cées à diverses distances. Ces valeurs ne sont probablement pas celles du vrai rapport des deux courants induits, surtout lorsque le fil est d'un gros diamètre, mais il est inutile de faire la correction, puisqu'elle devrait être la même aux deux distances.

NOMBRE de tours de la spirale induite.	DIAMÈTRE du fil dont elle est formée.	DISTANCE des spirales.	RAPPORT du courant inverse au direct.
11	$0^{mm},64$	3^{mm}	0,379
»	»	8	0,407
»	»	15	0,391
»	»	3	0,369
»	»	22	0,375
»	»	29	0,433
15	$1^{mm},24$	5	0,822
»	»	17	0,812
8	$2^{mm},48$	15	0,607
»	»	27	0,606
»	»	46	0,646
5	»	6	0,942
»	»	19	0,890

Influence de la section du fil induit.

L'intensité de chacun des courants induits augmente avec la section du fil induit, mais plus rapidement pour

l'inverse que pour le direct. Il est nécessaire, pour trouver la loi de cet accroissement, de n'employer que des spirales induites d'un seul tour, parce que dans les cas où il y en a plusieurs, ils réagissent les uns sur les autres, et cette réaction mutuelle peut masquer la loi du phénomène. On obtient d'ailleurs des courants induits assez énergiques avec une spirale inductrice convenablement choisie.

J'ai pris trois fils de $0^{mm},64$, de même longueur : deux ont été dépouillés de soie, bien décapés et tordus ensemble ; on les a ensuite tordus avec le troisième. On a formé avec ces trois fils une spirale d'un seul tour, dont la section devenait double ou triple lorsqu'on employait successivement le fil recouvert de soie, les deux fils dépouillés, ou les trois fils. J'ai formé une spirale semblable, mais en combinant un fil isolé avec quatre autres dépouillés de soie, ce qui permettait de faire varier la section dans le rapport de quatre et de cinq à l'unité.

Le rapport des courants induits, développés dans deux fils de sections différents, pouvait s'obtenir directement en soumettant successivement une même aiguille à leur action, ou bien en évaluant chacun d'eux à l'aide du courant inducteur pris pour unité. J'ai employé plusieurs fois ces deux méthodes, et, ainsi qu'on le voit plus bas, les résultats qu'elles ont fournis s'accordent d'une manière satisfaisante.

DISTANCE approchée des spirales.	RAPPORT OBSERVÉ DES DEUX COURANTS INDUITS DIRECTS QUAND LA SECTION DEVIENT							
	DOUBLE.		TRIPLE.		QUADRUPLE.		QUINTUPLE.	
	directement.	2e méthode.	directement.	2e méthode.	directement.	2e méthode.	directement.	2e méthode.
3mm	1,17	»	1,32	»	1,38	»	1,49	»
6	1,29	1,25	1,46	1,41	1,46	1,47	1,58	1,58
15	1,20	»	1,31	»	1,44	»	1,61	»
3	1,20	»	1,36	»	»	»	»	»
Moyennes..	1,22		1,37		1,44		1,56	
Racine quatrième du rapport des sections...	1,18		1,31		1,42		1,48	

La comparaison des nombres correspondants des deux dernières colonnes horizontales fait voir que l'intensité du courant direct augmente sensiblement comme la racine quatrième de la section; en évaluant de même les courants induits dans deux fils dont les sections étaient comme 9 à 1 et comme 10 à 1, j'ai trouvé pour leur rapport, dans le premier cas, 1,68; dans le deuxième, 1,90: ces deux nombres diffèrent fort peu de $\sqrt[4]{9} = 1{,}73$ et de $\sqrt[4]{10} = 1{,}78$.

Si l'on forme une spirale avec des fils semblablement disposés, mais isolés, l'intensité augmente un peu plus rapidement que dans le cas précédent. Il est facile d'en concevoir la raison. Il résulte de ces expériences que l'intensité du courant induit dans un fil est plus grande lorsqu'il est soumis seul à l'induction, que lorsqu'il se trouve placé dans le voisinage d'autres fils induits. On peut supposer que la diminution observée provient d'une réaction mutuelle entre les différents fils: cette réaction doit diminuer à mesure que leur distance augmente; l'effet d'induction doit donc croître plus rapidement quand les fils sont tous séparés les uns des autres par de la soie, que quand plusieurs sont en contact immédiat. Voici du reste les nombres que j'ai obtenus avec des fils isolés.

	RAPPORT DES DEUX COURANTS INDUITS DIRECTS POUR UNE SECTION					
	DOUBLE.		TRIPLE.		QUADRUPLE.	
	Directem.	2e méthode.	Directem.	2e méthode.	Directem.	2e méthode.
	1,35	1,32	1,42	1,49	1,45	1,51
Moyennes.	1,34		1,45		1,48	

Je n'ai pas employé de spirale formée de plus de dix

fils pour reconnaître si la loi continuait d'être la même lorsque la section devenait plus grande, parce qu'il est difficile de faire en sorte que quinze ou vingt fils se trouvent disposés de même par rapport au système inducteur. J'ai eu recours à un autre moyen. Il résulte de la loi précédente que, si l'on dispose de la même façon par rapport à la même spirale inductrice, trois spirales d'un seul tour, mais de fils inégaux en diamètre, l'intensité du courant direct devra varier proportionnellement à la racine carrée du diamètre. Voici les valeurs que l'observation m'a données.

DIAMÈTRE du fil.	INTENSITÉ observée du courant direct, l'inducteur étant 1.	OBSERVATION.
$0^{mm},64$	0,745	La correction à faire à cause de la longueur du circuit non soumis à l'induction serait la même, les fils ne différant que par le diamètre.
1 ,24	1,102	
2 ,48	1,188	

Les deux premières valeurs s'accordent avec la loi énoncée, car, en partant de la deuxième valeur, le premier nombre devrait être 0,776 au lieu de 0,745. Mais le troisième est plus petit que ce qu'il serait, si l'augmentation d'intensité du courant direct avait lieu suivant la même loi. Chaque spirale induite était à 15 millimètres environ de distance de l'inductrice. J'ai recommencé ces expériences avec soin, et j'ai encore trouvé que l'augmentation d'intensité était très-petite quand on remplaçait le fil de $1^{mm},24$ par celui de $2^{mm},48$. On observera du reste que ce résultat n'est nullement en contradiction avec celui auquel ont conduit les expériences sur les spirales multiples, la section du dernier fil étant seize fois plus grande que celle du premier.

L'intensité du courant direct augmente donc à peu près comme la racine carrée du diamètre ou la racine quatrième de la section, depuis les plus petits diamètres jusqu'à celui de $1^{mm}\frac{1}{2}$. Elle augmente ensuite moins rapidement, de telle sorte que l'effet produit reste à peu près constant.

Si l'on fait sur le courant inverse des expériences analogues, en employant des spirales d'un seul tour, de sections successivement double, triple et quadruple, on observe que son intensité augmente à peu près comme la racine carrée de la section, ou, ce qui revient au même, proportionnellement au diamètre. Le courant direct variant dans les mêmes circonstances, comme la racine carrée du diamètre, le rapport de l'inverse au direct doit croître en raison de la racine carrée du diamètre. Cette loi paraît s'étendre, ainsi qu'on va le voir, depuis le diamètre de $0^{mm},64$ jusqu'à celui de $2^{mm},48$, le plus grand que j'aie employé.

Pour obtenir le rapport des deux courants, direct et inverses, développé par une même spirale inductrice dans un fil d'un seul tour, on peut déterminer le rapport de chacun d'eux au courant inducteur. On peut aussi employer un autre moyen qui consiste à soumettre la même aiguille successivement aux deux courants induits, en tenant compte pour chacun d'eux de l'intensité de l'inducteur. On procède alors ainsi qu'il suit : on examine d'abord, par une expérience préliminaire, quelle doit être la déviation de l'aiguille de la boussole, pour qu'en l'y amenant elle reste en équilibre au moment où l'on ferme le circuit : cette déviation fait connaître l'intensité correspondante du courant. On place l'aiguille dans l'hélice du circuit induit, on forme le circuit, après avoir donné à l'aiguille de la boussole la déviation déjà observée, afin de savoir si le courant inducteur que l'on va employer a une intensité un peu plus grande ou un peu plus petite que celle du premier courant. On retire l'aiguille de l'hélice avant d'ouvrir le circuit,

et après qu'on l'a fait osciller, on ferme le circuit. On la place dans l'hélice, en ayant soin de disposer son pôle austral à gauche du courant direct, et l'on rompt le circuit de la pile quand l'aiguille a atteint une déviation fixe que l'on mesure à l'aide de la boussole. Si l'on appelle I, I′ les intensités du courant inducteur, I se rapportant au courant inverse ; T et T′ les durées d'oscillation correspondantes, le rapport du courant inverse au direct a pour valeur $\frac{T'}{T}.\frac{I'}{I}$.

Il est entendu qu'il faudrait soumettre l'aiguille en premier lieu au courant direct, s'il était plus faible que l'inverse.

Pour plus de clarté, j'inscris ici le tableau des observations faites en suivant cette marche.

DIAMETRE du fil induit.	COURANT INVERSE. Déviation de l'aiguille de la boussole au moment où l'on a fermé le circuit.	COURANT INVERSE. Intensité correspondante ou valeur de I.	COURANT INVERSE. Durée correspondante d'une oscillation ou valeur de T.	COUBANT DIRECT. Déviation de l'aiguille de la boussole au moment de la rupture du circuit.	COUBANT DIRECT. Intensité correspondante ou valeur de I'.	COUBANT DIRECT. Durée correspondante d'une oscillation ou valeur de T'.	RAPPORT du courant inverse au direct d'après la formule $\frac{T'}{T} \cdot \frac{I'}{I}$.
0mm,64	38° ½	0,622	1″,60	27°	0,454	0″,80	0,364
»	38	0,616	1 ,88	»	»	0 ,83	0,325
»	»	»	2 ,65	26	0,438	1 ,10	0,295
»	37 ½	0,609	2 ,60	»	»	1 ,24	0,343
»	36 ½	0,595	2 ,82	»	»	1 ,25	0,326
		Moyenne.....					0,330
1 ,24	41	0,656	1 ,49	30	0,500	0 ,98	0,501
»	41	0,656	1 ,92	»	»	1, 28	0,508
»	»	»	1 ,56	»	»	0, 99	0,483
»	39 ½	0,636	1 ,30	27 ½	0,462	0, 87	0,486
»	39	0,629	1 ,22	»	»	0 ,80	0,481
		Moyenne.....					0,488
2 ,48	36	0,588	0 ,94	24	0,407	0 ,85	0,625
»	34 ½	0,566	0 ,90	24 ½	0,415	0 ,70	0,570
»	34	0,559	0 ,81	»	»	0 ,67	0,614
»	»	»	1 ,07	»	»	0 ,87	0,603
»	33	0,545	0 ,81	24	0,407	0 ,67	0,617
		Moyenne					0,606

J'ai déterminé, dans le cas du fil de 1mm,24, le rapport es deux courants par le premier moyen que j'ai indiqué.

c'est-à-dire en estimant chacun d'eux à l'aide du courant inducteur pris pour unité, j'ai trouvé 0,500, valeur presque identique avec celle inscrite dans le tableau précédent.

La dernière valeur 0,606 qui représente le rapport observé des deux courants lorsque le diamètre égale $2^{mm},48$, est inférieure au vrai rapport, parce que l'inverse éprouve par l'interposition de l'hélice du fil de $0^{mm},64$, une diminution d'intensité plus grande que le direct. Pour avoir une valeur au moins approchée de la correction qu'exige cette circonstance, j'ai interposé, dans le circuit induit de $2^{mm},48$, un fil de $0^{mm},64$ et de $0^{m},40$ de longueur, et j'ai évalué le rapport des deux courants induits qui traversaient le système avec ou sans le fil additionnel; le rapport inverse des longueurs des circuits était 0,737. J'ai trouvé 0,713 pour le quotient des deux courants induits directs, et 0,656 pour celui des deux inverses. En négligeant la correction relative au courant direct, on voit que l'inverse est plus diminué que le direct dans le rapport de 0,656 à 0,737; il faut donc multiplier le nombre observé par $\frac{0,737}{0,656} = 1,12$ pour avoir une valeur approchée du rapport des deux courants direct et inverse, tel qu'on l'obtiendrait s'ils étaient affaiblis dans la même proportion. D'après d'autres observations analogues faites sur des spirales du même fil, je suis porté à croire la correction plutôt trop petite que trop forte. La valeur 0,606 devient, correction faite, 0,679.

Les valeurs respectives du rapport du courant inverse au courant direct seraient donc pour les trois fils ci-dessus :

0,330, 0,488, 0,679.

Les diamètres étant comme les nombres 1, 2, 4, si l'on calcule les valeurs extrêmes à l'aide de la troisième, en les supposant proportionnelles à la racine carrée du diamètre, on obtient

0,343, 0,488, 0,693,

qui diffèrent peu des valeurs observées.

Si l'on place successivement à la même distance d'une même spirale inductrice trois spirales d'un seul tour et de fils dont les diamètres soient respectivement $0^{mm},64$, $1^{mm},24$, $2^{mm},48$, le courant inverse devra croître d'abord comme le diamètre, ensuite comme la racine carrée du diamètre, si les lois relatives à l'accroissement du courant direct et du rapport des deux courants sont exactes; j'ai trouvé, à une distance de 10 millimètres environ, les valeurs suivantes :

$$0{,}306, \quad 0{,}538, \quad 0{,}767,$$

le courant inducteur étant égal à l'unité, et la dernière valeur corrigée, comme il a été dit plus haut. La première valeur devrait être 0,277, pour qu'en la comparant à la deuxième, la loi relative au diamètre fût vérifiée; la différence entre 0,277 et 0,306 est de l'ordre de celles que comportent les mesures lorsque les deux courants dont on évalue le rapport sont aussi différents l'un de l'autre. La troisième valeur est à la deuxième dans le rapport des racines carrées des diamètres.

Influence de la conductibilité du fil induit.

L'intensité de chacun des courants induits doit évidemment dépendre de la conductibilité du fil induit; elle varie en raison directe de cet élément, du moins d'après les expériences que j'ai faites sur deux spirales de fil de fer et de fil de cuivre. Le fil de fer avait $0^{mm},93$ de diamètre; le fil de cuivre était formé de deux autres de $0^{mm},64$ décapés et tordus ensemble; après avoir recouvert de soie le fil de fer et le double fil de cuivre, on les avait de nouveau entortillés l'un autour de l'autre, et l'on avait formé avec eux une double spirale de huit tours. En la disposant convenablement par rapport à la spirale inductrice, celle-ci devait agir semblablement sur chacun des deux autres, et la différence des effets d'induction ne pouvait provenir que de l'inégalité de conductibilité.

Le rapport des deux courants induits directs, déterminés

dans chacun des fils de fer et de cuivre (l'autre étant ouvert) par un même système inducteur a été trouvé, en le déterminant directement, égal à..... 0,587
et en mesurant chacun d'eux à l'aide du courant inducteur, à..... 0,554

Moyenne..... 0,570

Pour celui des deux courants inverses, on a trouvé par une série de mesures directes 0,559

Moyenne..... 0,564

Le rapport des conductibilités a été obtenu par les diminutions d'intensité qu'éprouvait un même courant d'intensité connue en traversant chacune des deux spirales. Voici les résultats d'une série d'expériences.

En faisant traverser un circuit par le courant constant d'un seul élément, j'ai obtenu pour la déviation de l'aiguille de la boussole de sinus..... 14°7'
En intercalant la spirale de fil de fer, cette déviation a été de..... 7·7
En intercalant la spirale de fil de cuivre, cette déviation a été de..... 9·7

On déduit de ces nombres que le rapport des conductibilités des deux fils supposés réduits à une section commune, celle du fil de cuivre, est égal à 0,530. D'autres expériences ont donné des valeurs peu différentes.

Si l'on remarque qu'il faudrait diminuer un peu le rapport 0,564, parce que la section du fil de fer est un peu plus grande que celle du fil de cuivre, la loi se trouve exactement vérifiée.

Les lois énoncées précédemment permettent d'analyser, au moins d'une manière générale, les phénomènes d'induction quand les spirales induites renferment plusieurs tours.

Si l'on considère un fil induit formé par la réunion de plusieurs fils de la même section, on peut regarder la

quantité totale d'électricité comme égale à la somme des quantités développées dans chacun d'eux : mais l'intensité de chacun des courants induits augmentant moins rapidement que la section, il en résulte évidemment que la quantité d'électricité induite dans chaque fil diminue à mesure que la section augmente, moins rapidement pour l'inverse que pour le direct, puisque la variation est plus grande pour le premier que pour le second.

Des réactions analogues s'opèrent entre les différents tours d'une spirale induite : par suite, la quantité d'électricité développée dans chaque élément est plus petite que s'il était isolé, d'autant plus qu'il y a un plus grand nombre d'éléments voisins, que la quantité d'électricité induite dans chacun d'eux est plus grande, que leur distance est moindre. Pour connaître l'intensité du courant induit, il faudrait donc pouvoir calculer la quantité d'électricité développée dans chaque élément, en tenant compte non-seulement de l'action des divers éléments inducteurs, mais aussi de la réaction des divers éléments induits voisins : la somme totale divisée par la longueur du circuit serait la mesure de l'intensité du courant. Mais quoiqu'on ne puisse pas aborder cette question, on peut néanmoins comprendre pourquoi, la spirale inductrice restant la même, le courant induit diminue à mesure qu'on augmente le nombre des tours de la spirale induite.

Supposons, en effet, une spirale de deux tours seulement formant un circuit fermé, et représentons par l'unité l'intensité du courant induit dans un seul tour, si l'autre n'existait pas. S'il ne s'opérait aucune réaction, le courant induit dans la spirale de deux tours serait encore égal à un, car cette intensité est proportionnelle à la quantité d'électricité développée dans un seul élément : elle sera moindre à cause de leur réaction mutuelle. S'ils étaient en contact immédiat, la quantité d'électricité totale contenue dans deux éléments voisins serait, à peu près, dans

le cas du courant direct, $\sqrt[4]{2} = 1{,}18$, et dans chacun d'eux elle en serait la moitié ou 0,59. S'ils ne sont pas en contact, elle sera plus grande et comprise, comme on voit, entre les deux limites 1 et 0,59.

De même, dans le cas d'une spirale de trois tours, l'intensité du courant induit direct devra être comprise entre les deux limites 1 et $\frac{\sqrt[4]{3}}{3} = 0{,}43$.

De sorte qu'elle diminue à mesure que le nombre des tours augmente, mais moins rapidement que suivant la raison inverse des nombres de tours.

Lorsque les spirales inductrice et induite sont égales et d'une longueur suffisante, l'effet d'induction en est indépendant : il est facile de voir en effet que la quantité d'électricité développée dans chaque élément ne doit pas varier sensiblement par une augmentation de longueur du fil des deux spirales. Seulement la diminution d'intensité qu'éprouvera le courant induit par l'interposition d'un même circuit sera d'autant plus faible que la longueur du fil induit sera plus considérable, par la raison qu'elle varie en raison inverse de la longueur du circuit.

L'intensité du courant induit dans le cas de deux spirales égales, ou de deux fils égaux roulés en hélice, est plus grande que lorsque ces fils sont tendus en ligne droite, toutes choses d'ailleurs égales, quoique dans l'un et l'autre cas, elle soit indépendante de leur longueur particulière. Cette augmentation d'intensité n'est pas due seulement à ce qu'un plus grand nombre d'éléments du fil inducteur agissent sur chaque élément du fil induit, car le nombre de ceux qui réagissent augmente dans le même rapport : mais cette intensité ne décroissant pas aussi rapidement que suivant la raison inverse du nombre des éléments qui réagissent les uns sur les autres, tandis qu'elle croît proportionnellement au nombre des éléments inducteurs, la

cause qui tend à augmenter la quantité d'électricité est plus influente que celle qui tend à la diminuer. Sans cette réaction, l'intensité du courant induit qui, dans le cas de fils très-rapprochés, roulés en hélice, est au plus le double de ce qu'elle est dans le cas où ces mêmes fils sont tendus en ligne droite, augmenterait beaucoup plus rapidement, vu la lenteur avec laquelle l'action décroît quand la distance augmente.

Le courant induit inverse diminue également lorsqu'on fait croître le nombre des tours de la spirale induite; mais la diminution produite par la réaction mutuelle des éléments étant moins grande que pour le courant direct, il en résulte que le rapport du courant inverse au courant direct doit être plus grand, le diamètre du fil restant le même, pour une spirale de plusieurs tours que pour une d'un seul. C'est ce que l'observation confirme. Ainsi nous avons vu plus haut (page 48) que pour trois spirales d'un seul tour formées de fils dont les diamètres sont respectivement

$$0^{mm},64, \quad 1^{mm},24, \quad 2^{mm},48.$$

le rapport correspondant du courant inverse au courant direct a pour valeur

$$0,330, \quad 0,488, \quad 0,679.$$

En employant des spirales de plusieurs tours formées avec ces mêmes fils, j'ai trouvé pour valeurs des mêmes rapports :

$$0,400, \quad 0,822, \quad 1,06 \ (*).$$

(*) Dans une note placée au commencement de ce Mémoire, j'ai dit qu'en établissant la communication entre les deux extrémités du fil induit à l'aide d'un fragment d'or en feuilles, on peut apercevoir très-distinctement les étincelles qui accompagnent le développement de l'électricité induite. En faisant l'expérience avec la spirale du fil de $2^{mm},48$ à laquelle se rapporte la valeur 1,06, j'ai observé que les étincelles apparaissent seulement lors-

On peut vérifier la variation d'intensité du courant avec le nombre des tours des spirales en plaçant devant une même spirale inductrice diverses spirales induites disposées autant que possible de la même manière. On peut encore s'en assurer en assujettissant l'une à l'autre deux spirales différentes, et en prenant successivement chacune d'elles pour inductrice, l'autre servant d'induite. Je rapporte ici quelques expériences faites de cette dernière manière.

1re SPIRALE.		2e SPIRALE.		INTENSITÉ DU COURANT DIRECT (L'INDUCTEUR ÉTANT 1) LORSQU'ON PREND POUR INDUIT	
Nombre de tours.	Diamètre du fil dont elle est formée.	Nombre de tours.	Diamètre du fil dont elle est formée.	la 2e spirale.	la 1re spirale.
11	0mm,64	22	0mm,64	0,403	1,386
13	5 fils de 0mm,28 isolés.	»	»	0,442	1,385
16	1 ,24	»	»	0,515	1,301
11	0 ,64	8	2 ,48	1,420	0,395
16	1 ,24	»	»	1,470	0,370

Lorsqu'une spirale additionnelle fermée se trouve placée dans le voisinage de la spirale induite, l'intensité du courant induit dans chacune d'elles est moindre que si l'autre n'existait pas, à cause de leur réaction mutuelle qui dépend, comme dans le cas des tours d'une même spirale, de leurs distances entre elles et au système inducteur, des nombres de tours qu'elles renferment et de la grosseur des

---

qu'on ouvre le circuit inducteur et nullement lorsqu'on le ferme. Quoique l'intensité du courant inverse soit égale à celle du courant direct, le premier est beaucoup plus affaibli que le deuxième en traversant la feuille d'or, ainsi qu'on peut s'en assurer avec une hélice placée dans le circuit induit ; et c'est probablement à cause de cette faible tension que le développement de ce courant n'est pas accompagné de lumière.

fils dont elles sont formées. La diminution d'intensité occasionnée par l'action de la spirale additionnelle peut d'ailleurs être mesurée en évaluant le rapport des deux courants déterminés dans la spirale induite, lorsque l'autre est fermée et lorsqu'elle est ouverte, ce qu'on peut faire directement ou en mesurant chacun d'eux à l'aide du courant inducteur.

Il est aisé, du reste, de s'assurer que, lorsque la spirale additionnelle est ouverte, son effet est absolument nul. Il suffit pour cela de soumettre une même aiguille au courant induit, d'abord lorsque la spirale est ouverte, ensuite lorsqu'elle est enlevée, le courant inducteur restant, bien entendu, le même dans les deux cas. On trouve que la durée d'oscillation ne varie pas, d'où il résulte que si la spirale ouverte exerce quelque influence, c'est pour augmenter l'effet d'induction. Mais en recommençant l'expérience en sens inverse, on arrive au même résultat : l'effet est donc nul. J'ai vérifié avec soin cette proposition, en plaçant l'une quelconque des trois spirales inductrice, induite et additionnelle, entre les deux autres.

Pour donner une idée de la diminution très-marquée que l'on observe dans l'intensité des courants induits lorsqu'une autre spirale est dans le voisinage, je rapporte ci-dessous les résultats de quelques expériences.

NUMÉROS des observations.	SPIRALES.	NOMBRE de tours.	DIAMÈTRE du fil.	DISTANCE à la spirale inductrice.	NOMBRE de tours de l'inductrice.	INTENSITÉ DU COURANT INDUIT DIRECT, L'INDUCTEUR ÉTANT 1, LORSQUE L'AUTRE SPIRALE EST		OBSERVATIONS.
						fermée.	ouverte.	
1	1re spirale..	3	0mm,64	1mm	11	0,395	1,14	
	2e.....	11	»	2		0,476	0,582	
2	1re.....	11	»	4	»	0,391	0,469	
	2e.....	3	»	5		0,217	0,706	
3	1re.....	15	1 ,24	3	44	1,594	1,982	
	2e.....	16	»	6		0,581	1,662	
4	1re.....	15	»	3	22	0,425	0,890	On a intercalé dans la 1re spirale un fil de 1mm,10 et de 2m,40.
	2e.....	16	»	6		0,664	1,000	
5	1re.....	15	»	3	16	0,690	0,790	
	2e.....	8	2mm,48	8		0,387	1,191	
6	1re.....	15	1 ,24	3	»	0,510	0,687	On a intercalé dans la 1re spirale le même fil que plus haut.
	2e.....	8	2 ,48	8		0,590	1,161	

Si, après avoir déterminé l'intensité de chacun des courants induits, l'autre spirale étant fermée, on les fait arriver simultanément dans l'hélice, l'intensité du nouveau courant devra être ou la somme ou la différence des deux valeurs observées suivant qu'ils parcourent l'hélice dans le même sens ou en sens contraire. Voici les résultats de quelques observations faites pour vérifier cette propriété. Les spirales étant les mêmes que celles qui ont servi aux expériences du tableau précédent, je les indiquerai par le numéro correspondant.

INDICATION des spirales.	SOMME		DIFFÉRENCE	
	observée.	calculée.	observée.	calculée.
3	2,151	2,175	1	1,013
4	1,171	1,089	»	»
5	0,919	1,077	0,310	0,307
6	0,901	1,100	Très-petit.	0,080

La différence entre le calcul et l'observation est très-petite, sauf pour les deux dernières expériences relatives à la somme. Pour m'assurer si la différence était réelle, ou devait être attribuée aux incertitudes des mesures, j'ai déterminé le rapport entre l'intensité du courant de chaque spirale (l'autre étant fermée) et celle du courant que l'on obtient quand tous les deux traversent l'hélice dans le même sens : si ce dernier est la somme des deux autres, on doit trouver l'unité en ajoutant les deux rapports observés.

J'ai trouvé avec les spirales de l'expérience n° 5, 0,873 et 0,193 pour les valeurs de ce rapport relatives à chaque spirale. La somme 1,066 de ces deux nombres diffère fort peu de l'unité.

Avec les spirales de l'expérience n° 1, j'ai obtenu pour les mêmes valeurs 0,538 et 0,478, nombres dont la somme est 1,016.

Ainsi, dans ces différents cas, les courants développés dans chaque spirale (l'autre étant fermée) s'ajoutaient ou se retranchaient suivant qu'ils parcouraient l'hélice dans le même sens ou en sens contraire. J'ai obtenu les mêmes résultats dans d'autres expériences très-soignées que je rapporterai plus loin : de sorte que ces courants instantanés jouissent, comme les courants de durée finie, de la propriété de s'ajouter ou de se retrancher lorsqu'ils parcourent un même conducteur dans la même direction ou dans des directions opposées.

L'intensité du courant induit dans une spirale diminue de même lorsqu'on met une plaque métallique dans le voisinage. L'influence de celle-ci peut encore être évaluée exactement en soumettant une même aiguille aux deux courants développés dans la spirale, lorsque la plaque métallique agit, et lorsqu'elle est enlevée. Je trouve ainsi que le courant induit dans une spirale de trois tours du fil de $0^{mm},64$, soumise à l'induction d'une spirale du même fil de onze tours, est réduit à la moitié environ de sa valeur par l'action d'une plaque circulaire de cuivre rouge de 3 à 4 millimètres d'épaisseur ; il est réduit aux $\frac{3}{4}$ environ par l'action d'une plaque semblable, mais fendue en seize sections. L'action de cette dernière, quoique moindre que celle de la première plaque, n'est cependant pas nulle. Je me suis assuré que des feuilles très-minces d'étain, des plaques de tôle et de laiton exercent des actions analogues, mais dont l'énergie est variable, ainsi qu'on pouvait s'y attendre, avec les conditions de chaque expérience.

Pour se rendre compte de la diminution qu'on observe dans l'intensité de chacun des courants induits lorsque deux systèmes induits sont soumis à l'action d'une même spirale inductrice, il faut connaître de quelle manière ces courants induits agissent sur des conducteurs fermés placés dans leur voisinage et à l'abri de toute influence étrangère. M. Henry s'est occupé le premier de cette question (1). Voici les conséquences auxquelles il est parvenu.

Si l'on appelle courant du premier ordre le courant voltaïque lui-même, à l'instant où il est rompu, il détermine dans un conducteur voisin un courant induit du deuxième ordre, lequel est direct ou de même sens que celui du premier ordre. Concevons que l'on fasse agir ce courant du deuxième ordre sur un troisième conducteur fermé, non soumis à l'influence du premier, il y développera un courant induit du troisième ordre, dont la direction sera opposée à celle du courant du deuxième ordre. Si ce courant du troisième ordre agit sur un quatrième conducteur non soumis à l'influence des deux premiers, il y fera naître un courant de quatrième ordre, de sens opposé à celui du courant de troisième ordre. De sorte que l'on a, pour la succession des signes des divers courants induits, la série suivante :

Courant de la pile ou du premier ordre..... +
Premier courant induit par la rupture du précédent ou de deuxième ordre..... +
Deuxième courant induit par la rupture du précédent ou de troisième ordre..... —
Troisième courant induit par la rupture du précédent ou de quatrième ordre..... +
Quatrième courant induit par la rupture du précédent ou de cinquième ordre..... —

J'ai vérifié avec soin les résultats obtenus par M. Henry, et j'ai observé, comme lui, que les courants induits de di-

(1) Ouvrage de M. Becquerel ou *Philosophical Magazine*, mars, avril et juillet 1840.

vers ordres, étaient alternativement de sens contraire, et cela jusqu'au courant du septième ordre. Je n'ai pu continuer cette vérification plus loin, à cause de la diminution d'intensité du courant induit à mesure que l'ordre s'élève. Seulement j'ai toujours remarqué que ce changement alternatif de direction avait lieu quelque rapprochés que fussent les deux systèmes inducteur et induit : j'insiste sur cette circonstance, parce que l'habile physicien de Princeton pense que le courant induit n'est de sens contraire à celui de l'inducteur (dans le cas où ce dernier est lui-même un courant induit) que lorsque la distance des deux fils atteint une certaine valeur. Dans mes expériences, j'ai fait agir l'un sur l'autre deux fils, l'un dépouillé, l'autre recouvert de soie, entortillés l'un avec l'autre, de sorte qu'ils étaient séparés par un intervalle de un tiers de millimètre au plus, et rien ne m'a autorisé à penser qu'à une distance très-petite l'induction avait lieu dans le même sens (1).

J'ai observé de plus que des phénomènes analogues se produisent au moment où l'on ferme le circuit voltaïque : comme le courant du deuxième ordre est alors de sens opposé à celui de l'inducteur, les changements de signe ont lieu à partir du courant du deuxième ordre, et l'on a dans ce cas la série suivante :

Courant de la pile ou de premier ordre	+
Premier courant induit au moment où le précédent s'établit, ou de deuxième ordre	−
Deuxième courant induit au moment où le précédent s'établit, ou de troisième ordre	+
Troisième courant induit au moment où le précédent s'établit, ou de quatrième ordre	−
Quatrième courant induit au moment où le précédent s'établit, ou de cinquième ordre	+

(1) Depuis que ce travail est écrit, j'ai eu connaissance du dernier Mémoire que M. Henry vient de publier dans le tome VIII des *Transactions de la Société philosophique américaine*. Il abandonne, dans ces nouvelles recherches, l'idée d'un changement dans le sens de l'induction avec la dis-

En un mot, les deux courants développés dans une même spirale induite au moment où le circuit voltaïque est ouvert ou fermé, sont toujours de sens opposés, à quelque ordre qu'ils appartiennent. Je n'ai pu pousser la vérification de cette propriété pour ceux de la deuxième espèce que jusqu'au cinquième ordre, parce qu'ils diminuent plus rapidement que ceux déterminés au moment de la rupture du circuit voltaïque par leur passage à travers les divers conducteurs qu'on est obligé de leur faire parcourir : il faut alors se servir d'aiguilles faiblement trempées. Les courants instantanés se distinguent donc de ceux de durée en ce qu'ils développent par induction des courants de sens contraire au leur, tandis que pour les autres le sens du courant induit est contraire à celui de l'inducteur au moment où l'action commence, et le même lorsqu'elle cesse.

Le rapport de deux courants induits consécutifs paraît être à fort peu près indépendant de l'ordre de l'inducteur, du moins quand le courant du deuxième ordre est *direct* ou déterminé par la rupture de celui du premier ordre. Il est certain que dans les expériences que j'ai faites, il n'a pas varié de quantités considérables. Il est entendu que les deux spirales inductrice et induite conservent bien la même position relative, quand on change l'ordre du système inducteur. Après avoir disposé, par exemple, les diverses spirales, comme il est indiqué (*fig.* 3, *Pl. I*), on détermine le rapport du courant du quatrième ordre au courant du troisième ordre, à l'aide d'hélices interposées dans les circuits des spirales A″ et B″. Sans toucher à ces deux spirales, on enlève les spirales A et B et l'on fait passer le courant du premier ordre dans A′. Le courant de A″ devient du deuxième ordre et celui de B″ du troisième ordre : on

---

tance, et je suis heureux d'être d'accord avec lui sur ce point. Il a obtenu également la série +, —, +, —, +, etc., pour les courants de divers ordres développés au moment où l'on ferme le circuit de la pile.

néral les unes avec les autres, autant qu'on peut le désirer. Ainsi, en prenant pour inductrice la spirale (1), le courant de (2) est peu diminué par l'action de (3), et celui de (3) l'est au contraire fortement par l'action de (2). De même, quand la spirale (3) est inductrice, le courant de (2) est peu diminué par l'action de (1) et celui de (1) l'est au contraire fortement par celle de (2). Les actions de (2) sur (1) et sur (3) sont à fort peu près les mêmes, ainsi que la symétrie l'indiquait.

A l'inspection de ces valeurs, on voit que le courant du deuxième ordre est à peu près le même, quelles que soient les spirales inductrice et induite, la troisième étant ouverte: ce résultat est d'accord avec ceux que j'ai déjà indiqués dans une autre partie de ce Mémoire sur le peu d'influence de la distance. Je me suis assuré que les valeurs du courant du troisième ordre différaient peu des précédentes en prenant pour unité le courant inducteur du deuxième ordre. Il est évident que si la diminution produite dans l'effet d'induction quand une spirale fermée se trouve dans le voisinage de l'induite dépendait *uniquement* des intensités des divers courants qui réagissent les uns sur les autres, les nombres de la quatrième colonne devraient différer fort peu les uns des autres: or, lorsqu'on prend pour inductrice une des spirales extrêmes, les courants induits dans chacune des autres spirales (supposées fermées toutes les deux) sont très-inégaux; et lorsque c'est la spirale du milieu qui sert d'inductrice, les courants induits dans chacune des deux autres sont égaux entre eux, mais différents des précédents.

Ces expériences et d'autres analogues me paraissent établir d'une manière incontestable que, dans le calcul des réactions mutuelles qui s'exercent entre les diverses parties d'un système induit, il ne faut pas tenir compte seulement des intensités des divers courants qui réagissent les uns sur les autres : il faut avoir égard à d'autres circonstances, par exemple, à leurs positions par rapport au système induc-

teur. Quoique j'aie déjà obtenu quelques résultats à cet égard, mes expériences n'ont pas été encore assez variées pour que je puisse formuler quelque chose de certain *sur les lois* de ces réactions.

MÉMOIRE

Sur les engrais et leurs valeurs comparées;

PAR MM. BOUSSINGAULT ET PAYEN.

Les agriculteurs admettent depuis longtemps que les fumiers les plus actifs proviennent des matières animales : or la principale différence entre ces matières et celles qui dérivent immédiatement des végétaux réside dans la proportion de l'azote (1).

Les progrès de la science, dans ces derniers temps, non-seulement confirment ces traditions, mais encore permettent de répondre à quelques objections élevées contre la généralité du principe; ils rendent compte de la nécessité de l'azote pour le développement des plantes.

On considérait naguère comme nuisibles à la végétation les premiers produits, souvent les plus riches en azote, de la putréfaction des débris animaux et même des fumiers : de là les préférences que l'on donnait aux fumiers consommés et aux matières animales réduites en terreaux après de longues altérations (2).

(1) On voit, dans une publication récemment faite par M. Julien, que de très-anciennes notions pratiques ont appris aux Chinois l'utilité des déjections animales et de divers détritus provenant des animaux : aussi recueillent-ils avec un soin minutieux l'urine et la matière stercorale dans de petits vases disposés à cet effet le long des chemins. Les vieillards, les femmes et les enfants s'occupent à délayer et déposer cet engrais près des plantes en doses convenables. Ils réunissent pour le même usage les cheveux tombés sous la coupe des barbiers.

(2) A la fin du siècle dernier, l'un de nos savants agronomes, Bosc, disait dans l'article *Engrais*, page 70 du grand *Dictionnaire d'Agriculture*, que

D'un autre côté, admettant comme la principale nourriture des plantes le carbone fourni par l'acide carbonique de l'air et des engrais, on appréciait surtout, dans ces derniers, l'utilité des produits capables de fournir ainsi du carbone et en particulier l'*acide ulmique*. Cette théorie, admise encore dans plusieurs ouvrages scientifiques, eût conduit à regarder comme d'excellents agents de fertilisation la tourbe et le terreau épuisé, qui sont, au contraire, de pauvres engrais, à moins qu'on ne les modifie par une addition de matière animale abondante en azote. On doutait, enfin, que les produits azotés des engrais fussent utiles par une action stimulante ou par la production de composés assimilables.

Un concours, ouvert en 1825 par la Société royale et centrale d'Agriculture, amena la solution de la première partie du problème en prouvant que les débris les plus putrescibles des animaux peuvent être appliqués à l'engrais des terres, sans aucune déperdition préalable, à la seule condition de ralentir les effets de la putréfaction, et de proportionner ainsi la dissolution et le dégagement des produits azotés à la croissance des plantes qui doivent les absorber.

L'approbation accordée à ce travail, avec le premier prix, fut depuis sanctionnée par une pratique, chaque jour plus étendue, des moyens indiqués par l'auteur (1).

Quant à la question du rôle que peuvent jouer les substances azotées dans la nutrition végétale, elle fut en grande partie résolue, soit par l'observation d'une loi générale qui assigne à tous les organes jeunes des plantes, à toutes leurs

pour employer comme engrais la chair des chevaux abattus, il fallait la laisser putréfier et réduire en terreau durant plusieurs années ; mais alors, on le comprend bien, la plus grande partie des produits azotés de la putréfaction étaient dissipés dans l'air.

(1) Un concours permanent encore encourage chaque année, depuis lors, l'application de ces moyens qui ont fait utiliser déjà des quantités considérables de sang, de chair musculaire, etc., perdus avant cette époque en France et à l'étranger.

parties douées d'une grande activité de développement, enfin aux substances contenues dans les conduits de leur sève ascendante, une composition élémentaire riche en azote (1); soit par la démonstration analytique des quantités d'azote que les plantes puisent dans les gaz atmosphériques, en proportions d'autant plus fortes que la culture est plus améliorante pour le sol (2).

Chacun de nous étant arrivé ainsi, par des voies différentes, aux mêmes conclusions, nous avons été heureux de trouver dans les expériences et l'assentiment des agronomes la confirmation de nos vues, et dès lors il nous a paru convenable de réunir nos efforts pour continuer en commun, et dans des vues d'applications plus directes, l'œuvre à laquelle nous avions travaillé séparément.

Avant d'exposer les résultats de nos analyses, nous présenterons quelques considérations générales, afin de mieux définir le caractère et la valeur de ces données numériques, et pour expliquer certaines anomalies apparentes.

Et d'abord, il nous importe de le rappeler ici : les phénomènes de l'alimentation des végétaux, en raison même de la structure et de l'action physiologique de leurs organes, s'accomplissent par l'absorption de substances *dissoutes* ou *gazeuses;* ces phénomènes se trouvent ainsi dégagés de toute la complication qui résulte dans la nutrition animale des influences relatives à l'état physique des aliments ingérés.

La qualité et les doses des engrais applicables aux plantes peuvent donc varier entre des limites très-étendues, s'ils cèdent leurs produits gazeux ou solubles en proportions convenables, pour un temps et une superficie donnés.

C'est ainsi que, toutes choses égales d'ailleurs, un engrais entièrement décomposable en ses produits solubles et gazéiformes, dans le cours d'une seule année, pourra produire

---

(1) VIIIe volume du *Recueil des Savants étrangers*, page 163, Mémoire sur la composition chimique des végétaux.

(2) *Annales de Chimie*, tome LXVII, page 5, et tome LXIX, page 353.

autant d'effet sur la première récolte qu'une quantité quintuple d'un autre engrais dont la décomposition ultime ne s'achèverait qu'en cinq ans; mais celle-ci fournira pendant un temps cinq fois plus considérable les produits utiles, et il y aura compensation.

La durée des engrais, souvent dépendante de la cohésion et de l'insolubilité de la substance organique, doit donc être prise en sérieuse considération : cette notion, utile aux agriculteurs, sert aussi à montrer la concordance qui existe entre les résultats analytiques du laboratoire et les effets pratiques de la culture dans certains cas où cet accord paraissait douteux.

Il pourra être parfois avantageux de modifier les engrais, soit en hâtant leur décomposition, soit en la retardant, afin de mieux proportionner ainsi leurs produits aux besoins des plantes. Nous en citerons quelques exemples dignes d'attention; nous rappellerons les conditions favorables qui, dans les résidus des raffineries, quintuplent les effets du sang, et les moyens de désinfection qui produisent des résultats analogues dans leur application aux matières trop putrescibles.

En considérant les changements prochains que les matières animalisées subissent par le fait de la putréfaction, nous admettons que, de toutes ces matières, les plus avantageuses à la production des engrais, ce sont précisément celles qui peuvent donner naissance à la plus forte proportion de corps azotés solubles ou volatilisables. En effet, la présence seule de l'azote dans une matière d'origine organique ne suffit pas pour la caractériser comme engrais : la houille, par exemple, renferme des quantités d'azote très-appréciables, et cependant l'action améliorante de la houille sur le sol est absolument nulle comme engrais. C'est que cette substance ne saurait éprouver, par l'action des agents atmosphériques, cette fermentation putride dont le résultat final est une production de sels ammoniacaux et d'autres combinaisons azotées.

L'efficacité des sels ammoniacaux dans les engrais est admise aujourd'hui par les chimistes qui ont porté leurs vues sur les applications agricoles : leur opinion est motivée sur les faits pratiques les plus authentiques, les mieux avérés. Ainsi l'urine putréfiée est, tout le monde le sait, un engrais des plus énergiques ; or le produit de la putréfaction de l'urée est presque en totalité du carbonate d'ammoniaque.

Le *guano*, cet engrais si actif, qui depuis des siècles fertilise les sables arides des côtes du Pérou, est presque uniquement formé de sels à base d'ammoniaque.

Tout en reconnaissant l'importance, la nécessité absolue des principes azotés dans les engrais, nous sommes loin de penser que ces principes soient les seuls utiles à l'amélioration du sol. Il est certain que différents sels alcalins et terreux sont indispensables au développement des végétaux.

A cet égard, nous considérons comme aliments les corps organiques et inorganiques qui doivent compléter et réparer dans leurs déperditions les substances congénères renfermées dans les êtres vivants.

Les principes organiques non azotés ne jouent sans doute pas non plus un rôle passif dans l'action fertilisante des fumiers ; mais, à quelques exceptions près, les sels fixes, l'eau, ou ses éléments, et le carbone surabondent dans les divers engrais ; ils constituent la majeure partie des chaumes et autres détritus des récoltes, leur excès peut même devenir nuisible. L'élément dont les doses sont le plus faibles, c'est l'azote. C'est d'ailleurs celui qui se dissipe le plus rapidement par l'altération des corps organiques à composition quaternaire, altération utile pour exciter la décomposition des substances organiques non azotées : par tous ces motifs, nous le regardons comme le principe dont il importe surtout de constater la présence ; c'est sa proportion qui établit, selon nous, la valeur comparative des engrais et leurs équivalents réciproques.

Les faits pratiques sont venus en foule confirmer ces données scientifiques et les prévisions qu'elles ont fait naître : on sait effectivement que les plus riches engrais, ceux qui maintenant ont le plus de valeur vénale et s'expédient à de plus grandes distances, sont formés de substances fortement azotées : tels sont les *membranes des tissus adipeux*, les *débris de poils*, de *laine*, de *soie*, de *plumes*, la *râpure de corne*, et le *sang*, qui, desséchés, représentent de trente-deux à cinquante fois leur poids de fumier normal.

Nos essais, décrits dans ce Mémoire, indiqueraient encore le moyen d'obtenir, en faisant ramasser certains insectes nuisibles, une nouvelle sorte d'engrais riche, dont l'emploi serait doublement profitable aux agriculteurs.

Certains engrais, estimés à juste titre, ne contiennent, il est vrai, que de faibles proportions de substances azotées, mais ils sont presque complétement exempts de débris organiques non azotés : de ce nombre sont les corps organisés abondamment incrustés de carbonate de chaux, formant d'immenses dépôts dans la mer, et qui, sous la dénomination de *merl*, sont si bien utilisés par les habiles cultivateurs des environs de Morlaix.

C'est sans doute en suppléant à la déperdition des matières azotées dans les débris végétaux qui s'épuisent, que les engrais animaux fertilisent le sol ; l'engrais flamand remplit lui-même chaque année ce rôle, et concourt à produire d'abondantes récoltes, sans jamais laisser la terre inactive. Ainsi donc, en résumé, *les engrais ont d'autant plus de valeur, que la proportion de substance organique azotée est plus forte, que cette proportion domine surtout, relativement à celle des matières organiques non azotées, qu'enfin la décomposition des substances quaternaires s'opère graduellement et suit mieux les progrès de la végétation.*

Les résultats des nombreuses analyses auxquelles nous nous sommes livrés, et dont les détails sont consignés dans notre Mémoire, s'appliquent à 95 substances ; ils se trou-

vent réunis dans les deux tableaux synoptiques où figurent aussi les éléments qui ont servi de base à nos calculs.

Le premier tableau présente les données et observations expérimentales, ainsi que la richesse ou le titre des engrais comparés au fumier humide ou sec. Le deuxième tableau, dégagé de tous les chiffres des observations, montre, en regard de chaque substance, deux nombres qui indiquent les équivalents des engrais, c'est-à-dire la quantité pondérale de chacun d'eux équivalente à 100 parties de fumier, 1° à l'état sec ; et 2° à l'état humide ordinaire.

OBSERVATIONS THÉORIQUES ET PRATIQUES RELATIVES AUX PRINCIPAUX ENGRAIS EXAMINÉS.

Fumier de ferme.

Cet engrais, si généralement employé dans les exploitations rurales, coûte de 60 à 75 centimes et jusqu'à 1 franc les 100 kilogrammes ; on peut obtenir un semblable fumier à plus bas prix dans les villes, surtout lorsque le transport, opéré par les voitures en retour du marché, coûte très-peu ; il revient dans ce cas de 45 à 60 centimes : chacun au reste pourra, suivant les circonstances locales, comparer le prix du fumier avec celui de chacun des autres engrais.

Il est souvent avantageux d'employer le fumier frais sur les terres plus ou moins compactes ; car son effet est d'autant plus grand qu'il a moins éprouvé de déperdition, et en outre il amende le sol par la division qu'il opère avant de se désagréger (1).

On admet en général que le fumier désagrégé par la macération dans des fosses, et, autant que possible, à l'abri des influences qui favorisent les fermentations, offre pour

(1) Le fumier de ferme, sur lequel a porté particulièrement notre examen, est le fumier à demi consommé : la paille n'est pas encore entièrement désagrégée, elle est seulement amollie et devenue filamenteuse.

les sols légers à la fois une substance hygroscopique qui amende la terre et l'aliment utile à la végétation.

Le fumier de ferme dont nous venons de parler, et que nous considérons comme l'engrais normal, est un mélange de déjections d'herbivores et de litières; avant de donner quelques détails sur plusieurs autres fumiers mixtes, nous décrirons en particulier les engrais provenant des débris végétaux qui entrent le plus communément dans sa composition.

Pailles.

Les produits désignés sous ce nom varient dans leurs qualités non-seulement suivant la plante d'où ils proviennent, mais encore suivant son âge au moment de la récolte : à cet égard les données analytiques, parfaitement d'accord avec les observations pratiques et les faits récemment admis en physiologie végétale, prouvent que les pailles sont d'autant plus riches en principes azotés que la maturité des graines de la plante est plus éloignée de son terme.

Nous avons opéré sur les pailles prises à l'époque convenablement choisie pour récolter les grains mûrs, et nous avons analysé les produits récemment coupés comparativement avec les pailles anciennes. Enfin nous avons déterminé à part pour quelques-unes la composition de la partie supérieure plus jeune; on remarquera que celle-ci est beaucoup plus riche en azote que la portion inférieure rapprochée du chaume.

On sait que, généralement dans les exploitations rurales, une grande partie des pailles s'appliquent à la nourriture des animaux, que presque toujours aussi une portion s'emploie comme litière, et que celle-ci s'augmente même souvent au-delà des prévisions du fermier, surtout lorsque la saison s'avance, car l'humidité qui occasionne des moisissures, et la sécheresse qui durcit trop la paille, ne permettent plus de continuer de la faire manger aux bestiaux.

Dans tous les cas, les pailles qu'on n'a ni expédiées, ni employées à couvrir les bâtiments, reviennent directement

ou indirectement au fumier, et il est utile de pouvoir comparer leur valeur sous ce rapport.

Quelques-unes, il est vrai, battues dans les champs, et trop ligneuses pour être facilement appliquées à la nourriture des bestiaux ou enfouies comme engrais, sont abandonnées ou incinérées; il y aurait souvent profit à les faire désagréger par une macération dans des eaux de fumier, afin de les répandre ensuite sur les terres : au surplus leur titre, ou richesse en azote, pourra servir de base aux calculs des agronomes. On remarquera, en jetant les yeux sur les tableaux, que, considérées comme engrais, les pailles analysées se rangent ainsi : 1° paille de pois (1); 2° paille de lentilles; 3° de millet; 4° de sarrasin; 5° d'avoine; 6° de froment; 7° d'orge; et 8° de seigle. Cette dernière, généralement obtenue sur des terres de deuxième classe, est plus pauvre en azote que toutes les autres, inférieure en qualité comme aliment et comme engrais; mais heureusement elle est préférable pour les couvertures en chaume et divers ouvrages en paille : il convient d'ajouter que, dans ces applications, les faibles proportions de substances azotées seraient plutôt avantageuses en rendant la paille moins altérable, qu'enfin les pailles sont sensiblement plus riches en azote lorsqu'elles proviennent de cultures dans des sols falsifiés par une abondante fumure.

La *balle de froment*, appelée aussi *menue paille*, se rangerait immédiatement après la paille de lentilles; on sait que cette matière, à l'état normal, ou mieux encore détrempée, soit à l'eau chaude, soit à la vapeur, entre dans l'alimentation des animaux et augmente indirectement ainsi la masse des fumiers. On peut se trouver forcé de l'appliquer directement à la fumure des terres lorsqu'elle est avariée.

---

(1) Qui, complétement desséchée, est égale à la substance sèche du fumier de ferme.

Genêt, fanes de madia, tiges sèches des topinambours. — L'ensemble des tiges et feuilles désignées sous ces noms présente, dans l'ordre où nous venons de les inscrire, les trois produits analysés qui d'ailleurs, en raison de la forte cohésion des tiges surtout et de la présence d'une exsudation térébinthacée du madia, exigeraient une macération préalable avant de pouvoir être utilisés comme engrais.

Nous devons rappeler ici une considération générale importante : les pailles et tiges sèches, dont nous venons de parler, se présentent comparativement au fumier ordinaire sous une condition défavorable, bien que leur équivalent à l'état normal soit pour plusieurs réellement plus fort. Cette condition, nous devons la faire ressortir, c'est la prédominance du tissu végétal non azoté : on la reconnaît immédiatement en jetant nn coup d'œil sur la colonne des équivalents de la *substance sèche;* on y remarque, en effet, que toutes, à l'exception de la paille de pois, sont en cet état de beaucoup inférieures au fumier également sec. Il résulte de ce fait que, pour une égale quantité de matière organique, les produits à composition azotée ou quaternaire, étant moins abondants, hâteront moins la décomposition, et qu'ensuite dégagés en partie, ils laisseront un détritus plus pauvre, se rapprochant alors des mauvais engrais la tourbe, l'acide ulmique et les sciures de bois, par exemple (*voyez* les n°s 46, 47, 48) ; la matière azotée ne sera plus suffisante pour compléter la nutrition générale nécessaire à une abondante récolte pour une surface donnée.

Ainsi l'analyse et les plus constantes observations pratiques s'accordent sur ce point, en montrant l'utilité d'animaliser les débris végétaux trop ligneux : tels sont les effets si évidemment avantageux de l'emploi des animaux herbivores et de l'application heureuse, partout sans exception, des matières animales très-riches en principes immédiats azotés.

ii les *engrais verts* produisent sans autre addition de très-
is effets en agriculture, c'est que le rapport de la substance
tée au surplus de la matière organique y est aussi grand,
même plus fort, que dans le fumier de ferme : on en
ura juger en examinant les nombres des sixième et hui-
ne colonnes en regard des *fanes de carottes*, des *pommes*
erre et des *betteraves;* on verra dans les mêmes colonnes
: les *feuilles de bruyère*, séparées de leurs tiges, se rap-
chent beaucoup de ces engrais (1).

Goëmon : considérés sous le rapport de leur équivalent,
: à l'état normal, soit dans leur substance desséchée, on
t à l'inspection des nombres situés vis-à-vis les fucus, que
cryptogames se rapprochent beaucoup des fumiers ou
dépassent en pouvoir fertilisant : cela explique les
ntages de l'énorme récolte du goëmon sur les plages de
Bretagne.

Ces plantes employées, soit au sortir de la mer, soit à
ni desséchées, macérées ou même torréfiées par une inci-
ation partielle, agissent, et par les produits de leur ma-
e organique azotée, et par leur faculté hygroscopique ;
in, sans doute aussi, par les propriétés stimulantes des
nposés salins (chlorures de sodium et de potassium, sul-
: de potasse, etc.) qu'elles contiennent.

Sous le nom de goëmon, les agriculteurs bretons em-
ient, depuis des temps fort reculés, les diverses plantes
la famille des algues qu'ils peuvent se procurer; on en
: également usage en Écosse et en Irlande pour l'en-
is des terres ; les Anglais l'appellent *grass-wreck*, ou en-
e *sea-weed*, herbe marine.

Enfin on sait que l'incinération de ces plantes produit le
lange de sels, appelé *soude de warechs*, d'où l'on ex-

) Un simple battage et criblage permettent d'opérer cette séparation à
de frais dans certaines localités; il serait peut-être profitable d'appli-
r les feuilles à l'engrais, et les tiges à préparer une infusion de tannin
pre à la conservation des peaux.

trait notamment, à Cherbourg et Tourlaville, l'iode et le brome, après avoir isolé le sulfate de potasse, le chlorure de potassium et le sel marin, et concentré les eaux-mères renfermant les iodure et bromure de potassium.

En Bretagne, la récolte du goëmon se fait à des époques déterminées par des ordonnances; les premiers produits, ainsi que les débris arrachés par les flots (goëmon épave), sont abandonnés aux pauvres. La plus grande partie de la récolte s'effectue ensuite régulièrement à l'aide d'espèces de râteaux tranchants; les plantes coupées sur les roches, amoncelées en radeaux, ou dans des gabares, sont conduites sur le rivage; les cultivateurs qui se livrent à ces travaux vendent le surplus des quantités de goëmon utiles à leur engrais : un grand nombre de *gabariers* en font aussi commerce dans le département de la Manche, aux îles Chansey et sur la côte depuis Genests jusqu'au delà du cap la Hogue, ainsi que sur les côtes du Calvados où de semblables pratiques se sont répandues.

Le goëmon employé à l'état normal est enfoui le plus frais possible; mais pour les terrains où l'on préfère l'emploi des engrais consommés, ceux-ci se préparent en stratifiant par couches alternatives le goëmon avec le fumier. Un grand nombre de coquillages, corallines, etc., attachés au fucus, concourent aux effets utiles de cet engrais; parfois on soumet le goëmon à une incinération incomplète qui, détruisant une grande partie de la substance végétale, laisse dans la cendre charbonneuse une quantité sensible de produits azotés, ainsi que le montre notre analyse. Avant de *brûler* le goëmon, on a le soin de l'exposer aux eaux pluviales, afin d'enlever l'excès du sel; puis on le retourne fréquemment, afin de le dessécher. En cet état, il sert de combustible dans les localités où le bois est rare.

On a signalé, à bon droit, un avantage du goëmon qui, ne retenant pas, comme le fumier, les graines de diverses plantes nuisibles, ne peut les propager, permet au contraire

de les éliminer, si d'ailleurs les semences confiées au sol ont été convenablement épurées ou choisies (1).

Les *racines de trèfle*, résidus enfouis de récoltes améliorantes, équivalent dans leur substance sèche aux 0,9 de la substance du fumier, et à l'état normal à quatre fois leur poids de fumier humide.

Les *radicelles d'orge*, connues chez les brasseurs sous le nom de *touraillons*, étaient naguère rejetées comme un résidu sans valeur ; les nouvelles données scientifiques sur la composition des radicelles et l'appréciation des engrais leur ont ouvert un débouché parmi les cultivateurs. Livrées immédiatement après la dessiccation sur les tourailles, elles représentent deux fois et demie leur poids de fumier ordinaire, et se vendent dans plusieurs localités à un prix en rapport avec ce titre. Leur état de division permet de les répandre économiquement et avec régularité ; elles absorbent et retiennent l'eau ; on peut souvent, avec avantage, les charger de liquides azotés provenant de déjections animales.

Les *graines* réunissent vers le temps de la maturité une grande partie des principes azotés de la plante ; aussi fournissent-elles des engrais assez riches et dont, en plusieurs circonstances déjà, on tire un bon parti : c'est ainsi qu'en Toscane on cultive exprès le lupin dans certaines terres d'où les récoltes volumineuses ne pourraient avantageusement s'expédier. La graine de cette légumineuse se vend comme engrais : on l'emploie après avoir détruit sa faculté germinative par l'ébullition dans l'eau ou une légère torréfaction dans un four. C'est, comme on le voit, un moyen d'importer près des centres de grande consom-

(1) On trouvera d'autres renseignements sur le goëmon et les sables de mer appliqués à l'engrais des terres dans les *Recherches pour servir à l'Histoire naturelle du littoral de la France*, par MM. Audouin et Milne Edwards ; 1832 ; tome 1er, pages 63, 217 et 223, et dans un Mémoire de M. de Blois, imprimé en 1823 à Morlaix, par décision du Conseil général. Nous devons les échantillons et diverses données relatifs aux engrais de la Bretagne à M. Augustin, membre et secrétaire de la Société d'Agriculture de Morlaix.

mation un agent de fertilité emprunté aux sols moins favorablement situés.

Les graines de lupin servent d'engrais dans les cultures annuelles et même dans la plantation des arbres. Le tableau montre qu'à l'état normal, elles valent au-delà de huit fois et demie leur poids de fumier.

Certains *résidus de fabrication* ont en agriculture une grande importance, car ils rendent à l'engrais une quantité notable de la substance azotée du végétal récolté. Plusieurs graines ou leurs résidus sont dans ce cas, ainsi les *marcs de raisins* répandus directement ou soumis à une macération spontanée d'une saison à l'autre retiennent, surtout dans les pépins, une matière azotée assez abondante pour que ce marc à l'état normal soit équivalent à environ quatre fois et demie son poids de fumier, et, comme sa décomposition est lente, cet engrais est surtout convenable pour la fumure des vignes : il se trouve donc un débouché tout naturel sur les lieux mêmes de sa production.

Toutes les *graines* dites *oléagineuses*, après l'extraction de l'huile (produit commercial qui lui-même n'enlève pas sensiblement de principes azotés), laissent un marc qui deux fois exprimé à chaud se vend sous la forme de plaques ondulées et sous le nom de *tourteaux*.

Les *tourteaux* des huileries offrent la plupart un bon aliment pour les animaux, et constituent directement aussi des engrais justement estimés. Sous ce rapport nos analyses les classeraient dans l'ordre suivant :

1°. *Tourteau d'Arachis hypogea*, qui équivaudrait à vingt fois son poids de fumier; 2° *tourteau de lin*, l'un des plus estimés pour la nourriture du bétail; 3° *tourteaux du Madia sativa*, peu connus encore, mais qui nous paraissent d'après quelques essais, convenables aussi comme substance alimentaire (1); 4° *tourteau de colza*.

(1) Dans les deux fermes dont chacun de nous suit les travaux, nous avons pu nous assurer de ce fait, dont avait fait douter l'apparence extérieure du résidu en question.

Au nombre des fabriques qui tirent leurs matières premières des produits de la culture et livrent des résidus utiles comme engrais, se trouvent les sucreries indigènes et les féculeries. Déjà nous avons indiqué la valeur des fanes séparées à l'époque de l'arrachage des betteraves et des pommes de terre ; il nous reste à parler des pulpes, écumes, dépôts et eaux de lavage.

Dans la fabrication du sucre de betteraves la pulpe pressée constitue un aliment estimé à l'égal des betteraves elles-mêmes, car il contient, à quelques centièmes près, les mêmes proportions de sucre, d'albumine, etc., etc., et se présente dans un état de division convenable, mieux débarrassé d'ailleurs que les racines entières des substances terreuses, portions altérées, etc. Toutefois, lorsque la production dépasse la consommation et que les moyens de la conserver manquent, une partie de la pulpe est employée directement comme engrais : le tableau montre qu'à l'état normal, sortant des presses, elle contient 0,7 d'eau et représente les 0,85 de son poids de fumier.

Les écumes et dépôts des défécations abondants en substance albumineuse, unie à la chaux, rendent au sol une partie de la matière azotée utile à la fumure ; nous ne les avons pas encore soumis à l'analyse. Les eaux de lavage du noir avant la revivification entraînent des matières analogues d'autant plus favorables qu'elles sont accompagnées de charbon animal fin, dont nous indiquerons plus loin les utiles propriétés.

La *pulpe* des pommes de terre lavée pour en extraire la fécule forme un bon aliment, à la condition toutefois qu'on en aura éliminé l'excès d'eau par une pression grossière et qu'on ajoutera une nourriture moins aqueuse dans le régime des animaux : il arrive parfois, et surtout à la fin de la saison du travail des féculeries, que la pulpe, d'ailleurs de plus mauvaise qualité, se trouvant en concurrence avec des fourrages verts, ne peut plus être con-

sommée comme aliment et passe alors aux engrais ; elle convient surtout dans les composts, où sa qualité spongieuse entretient l'humidité utile à la désagrégation des parties ligneuses. L'analyse montre que sa substance sèche est équivalente à celle du fumier de ferme, et qu'à l'état normal, telle qu'elle sort de la presse, 100 parties de pulpe représentent 131 de fumier humide.

Les eaux de lavage de la pulpe des pommes de terre, décantées au-dessus de la fécule, puis entreposées dans de vastes bassins glaisés d'où elles coulent en arrosage, peuvent fournir au sol un engrais dont il convenait d'estimer la valeur.

Cette donnée était d'autant plus importante, que les eaux en question occasionnent par leurs altérations spontanées de graves inconvénients dans beaucoup de localités. Le problème a été résolu, et cette fois encore la pratique éclairée est venue sanctionner les résultats analytiques. Un exemple frappant est aujourd'hui sous les yeux de l'Académie des Sciences, où il fut apporté par M. Dailly, l'un de nos plus habiles agronomes. On voit dans cette communication, que se confiant aux opérations du laboratoire, M. Dailly est parvenu à transformer en un engrais réalisant un produit annuel de 1600 francs les eaux de sa grande féculerie qui naguère, par leurs fétides exhalaisons, lui occasionnaient un préjudice notable.

Le tableau montre que les eaux de lavage pesant environ quatre fois plus que les tubercules rapés contiennent 0,0085 de substance sèche, qui elle-même représente 0,0828 de son poids d'azote ; en sorte que l'eau de lavage équivaut à 0,17 de fumier humide : elle peut être utilement employée en irrigations sur les terrains légèrement inclinés dont on baigne successivement les parties à fertiliser.

Dépôts des eaux des féculeries. — Les eaux dont nous venons de parler, durant la campagne de l'extraction de la fécule, laissent déposer dans les bassins où elles séjournent

atières organiques insolubles; celles-ci, enlevées à la
: la fabrication, égouttées, puis desséchées à l'air,
tuent un engrais pulvérulent, que l'analyse indique
aloir à environ moitié de son poids de *poudrette* or-
e; en effet, employé comparativement dans cette pro-
n par M. Dailly, il a paru pratiquement démontré
100 parties remplaçaient réellement 100 parties de
ette.

grais mixtes (excréments d'animaux). — On sait que
créments solides, plus la portion recueillie des urines
nimaux, constituent la substance la plus riche des fu-
; le mélange de toutes ces déjections, que nous avons
our commune mesure sous le nom de *fumier de ferme*,
omme on le voit, sensiblement égal au *fumier mixte*
ches, et vaut 0,33 de moins que le *fumier mixte de*
l. Ce n'est pas la seule différence notable qui existe
ces deux fumiers : le dernier, dont les composants
ennent moins d'eau et plus de matières riches en azote,
us actif, plus *chaud*, comme le disent les cultivateurs.
u'on l'emploie isolément, il convient surtout aux
habituellement humides ou *froides;* à cet égard il se
oche des fumiers de chèvres, de moutons et de la co-
ine. Le fumier mixte de vaches, au contraire, plus
é d'eau et moins abondant en azote, s'emploie de pré-
ce sur les terres sèches, sableuses ou arides; d'autres
ers détrempés par les mêmes motifs, s'appliquent avan-
sement dans des circonstances semblables.

reste, chacun de ces fumiers, ainsi que leurs mélanges,
t utilement employés sur tous les sols, à la condition
oindre l'action des amendements appropriés.

peut les ranger, d'après les nombres des tableaux,
l'ordre suivant, établi entre ces engrais à l'état nor-
excréments, 1° de chèvres, 2° de moutons, 3° de che-
, 4° de porcs, 5° de vaches.

débris des animaux morts ou abattus. — Tous les pro-

duits du dépeçage des animaux peuvent être mis à profit dans les campagnes : les uns, tels que les *peaux*, les *crins*, les *tendons*, la *corne*, les *os compacts*, épais ou à larges surfaces, les *plumes*, etc., constituent les matières premières de diverses industries bien connues, et qui toutes laissent à l'agriculture celles de ces matières de qualités inférieures qu'elles rebutent, ainsi que les résidus des opérations qu'elles leur font subir.

Les plumes grossières rejetées des applications à la literie, aux fournitures de bureaux, etc., constituent un excellent engrais, facile à doser et répandre en lignes avec la semence. On les paye jusqu'à 60 fr. les 100 kilogr. pour la culture des chanvres de la Romagne.

La *râpure de corne* est un engrais très-riche et dans un état de division qui favorise son dosage et sa décomposition toujours assez lente.

La chair musculaire, une partie des tendons et de la peau sont, en général, applicables à nourrir les animaux et à rendre plus nutritifs les aliments végétaux : les porcs surtout profitent beaucoup de cette addition, plus de la chair crue que de la chair cuite; mais cette dernière donne à leur propre viande, surtout à la belle race du Hampshire, une qualité meilleure, et il importe de ménager la distribution de la chair crue aux approches du terme de l'engraissement des porcs. La chair que l'on n'utiliserait pas ainsi peut souvent être avantageusement desséchée après une coction à l'eau ou à la vapeur, puis réduite en poudre et employée comme engrais.

Le *sang* des animaux abattus est moins propre à la nutrition des porcs; donné en aussi fortes proportions que la chair, il paraît être une cause de maladies graves : on devrait donc le mélanger avec de plus grandes quantités d'aliments végétaux, ou le réserver pour l'engrais des terres.

Sous ce dernier rapport, sa préparation la plus convenable est au surplus très-facile : il suffit de le faire coaguler par

tion, l'étendre à l'air ou dans une étuve, et le con-
sec dans des barils. Le sang desséché à froid sans
tion reste soluble et présente les inconvénients du
uide (1).

uantités considérables de ces engrais sont chaque an-
a disposition des agriculteurs : ils proviennent des
x morts accidentellement, ou par suite de maladies,
tus en grand nombre près des villes populeuses; là,
rs, il se forme des établissements spéciaux qui pré-
et expédient ces engrais pulvérulents et riches. Leurs
t leurs équivalents, consignés aux tableaux, mon-
a'ils ont une valeur assez grande pour supporter des
transport à de grandes distances : ce sont les seuls,
, qu'on puisse exporter par exemple jusqu'aux co-
où leur prix, élevé jusqu'à 40 fr. les 100 kilogr.,
s un obstacle à leur application.

os sont destinés à l'agriculture ordinairement après
n a extrait les matières grasses contenues dans les
dipeux de leurs cavités. On les soumet ensuite à un
grossier entre les dents de cylindres en fonte, et ils
t alors un engrais de longue durée, car la matière
ue, défendue par une abondante substance inorga-
ne cède que fort lentement les produits de son alté-
pontanée, à moins toutefois que la division n'ait été
aussi loin que dans la râpure d'os, résidu du travail
ettiers, altérable surtout lorsque l'humidité du sol et
érature favorisent beaucoup sa décomposition.

nspection des tableaux on voit que, toutes circon-
favorables d'ailleurs, les débris animaux tels qu'on

---

pourrait employer comme engrais le sang liquide, mais il se dé-
alors si rapidement, que ses produits s'exhalent sans produire
d'effet, à moins qu'on ne l'ait étendu dans une très-grande masse
ée ensuite en irrigations, la terre pouvant dans ce cas retenir les
liquides ou gazeux très-disséminés.

les livre dans le commerce, considérés comme engrais, se peuvent classer dans l'ordre suivant : 1° les chiffons de laine et les plumes, qui représentent trente-huit à quarante-quatre fois leur poids de fumier ; 2° le sang coagulé sec et la râpure de corne, dont la valeur s'élève au delà de trente-six fois celle du fumier normal ; 3° le sang soluble, qui, à la vérité, produirait en cet état moins que sa richesse ne l'indique ; 4° la bourre de poils de bœufs, qui représente trente-quatre fois ; 5° la chair sèche, qui vaut environ trente-deux fois son poids de fumier, et qui, en raison de sa cohésion plus forte que celle du sang sec coagulé, produit directement un peu plus d'effet que son équivalent ; 6° la morue salée, qui, rendue impropre à la nourriture des hommes par une altération spontanée, représenterait près de dix-sept fois la valeur du fumier, et qui, épuisée de sel, pressée et desséchée, vaudrait plus du double, d'après les indications analytiques des tableaux ; 7° les os fondus séchés à l'air ; 8° les os gras ; 9° les os fondus humides ; 10° le sang coagulé humide, qui représente encore douze fois son poids de fumier.

Nous avons compris parmi les débris animaux directement applicables à l'engrais des terres, les hannetons qui, à poids égal, représenteraient quatre fois la valeur du fumier ordinaire ; à ce taux, il y aurait en beaucoup de localités un triple avantage à faire ramasser ces insectes. En effet, comparativement avec le prix du fumier supposé de 60 cent. les 100 kilogr., on pourrait payer 2 fr. au moins le même poids de hannetons, et l'on diminuerait considérablement ainsi les dégâts énormes occasionnés par les *vers blancs*.

Une difficulté que cette application si désirable nous a présentée dans nos essais, tenait à la persistance de la vie chez ces insectes : nous sommes parvenus à la vaincre économiquement, en versant, sur 1 hectolitre de hannetons, par exemple, dans un tonneau, un demi-hectolitre de lait

de chaux contenant 5 kilogr. de chaux, agent qui peut être considéré comme obtenu gratuitement, puisque cette dose est loin d'être égale à la quantité qui serait avantageusement employée chaque année sur la plupart des terres en culture.

Les sauterelles, qui souvent dévastent les campagnes, notamment en Normandie, pourraient être arrêtées dans leurs pérégrinations à l'aide de fossés où leurs innombrables bandes seraient détruites par des arrosages au lait de chaux récemment éteinte. L'engrais obtenu compenserait probablement les frais de cette utile opération.

Résidus de diverses opérations sur les matières animales.

Nous aurions pu comprendre sous ce titre plusieurs des débris mentionnés plus haut, mais nous avons cru convenable de traiter là des substances à l'état normal, ou seulement divisées mécaniquement, et devoir réserver, pour en parler ici, les résidus plus ou moins altérés de certaines opérations relatives aux substances animales : dans tous ces résidus, la matière organique est abondante en azote; toutefois son action, généralement très-favorable comme engrais, semble présenter des anomalies très-grandes : nous ferons voir que ces anomalies ne sont en effet qu'apparentes.

Chiffons de laine. — On ramasse dans les grandes villes ces débris de divers tissus usés : une partie s'emploie dans quelques industries, la préparation des papiers veloutés, des produits ammoniacaux, etc.; on en expédie d'assez grandes quantités pour l'engrais des vignes et des oliviers; sa décomposition très-lente le fait agir pendant six à huit ans; son titre élevé, d'après nos analyses, le classe parmi les plus riches engrais (1).

(1) Nous avons opéré sur le *gros de laine* de première qualité de toute laine pure : les qualités inférieures contenant en fils de chanvre, lin et coton, substances terreuses, etc., de 5 à 12 centièmes, leur richesse doit être réduite dans cette proportion.

L'application des chiffons de laine est depuis longtemps pratiquée dans les contrées méridionales, pour les cultures des oliviers, des mûriers, de la vigne, etc. Nous citerons ici un exemple de l'utilité de cet engrais riche dans nos départements du centre.

M. Delonchamps, propriétaire d'une ferme de 183 hectares au château de Fontenelle (Seine-et-Marne), a réalisé une économie notable par l'emploi de cette fumure.

Il fait venir les chiffons de Paris. Une seule voiture à trois chevaux apporte en retour 3000 kilog., qui coûtent 180 francs, suffisent à la fumure de 1 hectare, et font sentir leur effet la troisième année et au delà. Cette quantité remplace 45 000 kilog. de fumier qui, à 70 cent., coûteraient 315 fr.

M. Delonchamps, après avoir fumé pendant trois années une partie de ses terres avec des chiffons de laine, y répand du fumier pour trois autres années, afin d'entretenir le sol dans un état assez meuble, puis il revient aux chiffons.

Outre l'économie directe ainsi obtenue, on facilite les transports, parfois si dispendieux sur les terres fortes après les pluies.

Il convient de diviser le plus possible les chiffons avant de les répandre : on y parvient à l'aide d'une lame de faux implantée à 45° sur un billot. Cette opération manuelle, peu coûteuse, laisse un peu trop larges les débris coupés ; aussi voit-on dans les cultures fumées ainsi de nombreuses touffes plus hautes, qui correspondent aux *loques* plus ou moins espacées.

Pain de creton. — On désigne ainsi le marc des graisses de bœufs, veaux et moutons traités par les fondeurs de suif. Ce résidu, en très-grande partie composé des membranes du tissu adipeux et de la graisse dont elles restent imprégnées, contient en outre de petites quantités de sang, de muscles et d'os. Les pains de creton sont employés pour la plus grande partie à la nourriture des chiens ; les agricul-

leurs commencent à en faire un usage avantageux comme engrais. Afin de déterminer leur composition, un échantillon commun fut d'abord préparé, en soumettant à l'action d'une lime les diverses parties d'un pain, réunissant et mêlant ensemble ces poudres, puis prélevant sur le mélange une quantité convenable pour la dessiccation, l'analyse et l'incinération.

L'analyse de cette matière montre qu'elle est au nombre des engrais riches. On l'emploie en doses sensiblement proportionnées à son équivalent et préalablement divisée à la hache et au marteau : parfois on la détrempe, ainsi divisée, dans l'eau chaude avant de la répandre sur les terres ; son action se prolonge durant trois ou quatre années.

Marcs de colle. — Les fabricants, après avoir traité par l'hydrate de chaux, lavé et soumis à une ébullition prolongée les *rognures* de peaux et les tendons, obtiennent pour produit la gélatine ou colle-forte, et pour résidu, qu'ils lavent et expriment à chaud, toutes les parties, inattaquées par l'eau bouillante, des substances tendineuses et cutanées, les poils, quelques débris de corne, d'os et de muscles, outre un savon calcaire et les matières terreuses.

Ce mélange, très-humide et chaud au sortir des presses, se putréfie avec une grande rapidité, si l'on ne se hâte de le faire dessécher ; à l'état sec on le peut conserver longtemps à l'abri de la putréfaction. Ce fut aussi après une dessiccation immédiate que l'on prépara l'échantillon commun soumis à l'analyse et dont le titre est indiqué par les tableaux. Les procédés de désinfection, dont nous parlerons en terminant, s'appliquent avec succès à ce résidu, augmentent son effet réalisable et font disparaître les inconvénients de la décomposition en la rendant beaucoup plus lente.

Poudrette. — On nomme ainsi les résidus, lentement desséchés à l'air, des dépôts consistants formés au fond des bassins où l'on verse les vidanges des latrines.

Bien que la putréfaction, durant plusieurs années, ait réduit de beaucoup la matière organique en enlevant sous forme de vapeurs ses portions les plus putrescibles, le résidu pulvérulent obtenu émane encore des gaz infects dont une partie peuvent être absorbés sans décomposition complète dans les organes des plantes et communiquer à celles-ci une odeur désagréable, à leurs feuilles surtout. C'est ainsi que l'on pourrait expliquer l'abandon de la poudrette dans certaines localités, en Lombardie, par exemple, où l'on tient beaucoup à conserver l'excellente qualité des herbages et à éviter d'y introduire une odeur qui altérerait le goût du lait.

Dans un grand nombre d'autres cultures, la poudrette agit efficacement et en raison de la proportion d'azote combiné qu'elle renferme, sauf la cause de déperdition ci-dessus indiquée; il en résulte qu'il y aura toujours lieu de comparer entre elles les différentes poudrettes commerciales, et cela est devenu surtout utile depuis que des débris organiques pulvérulents, mais très-pauvres en azote, sont mélangés dans la matière première avant sa complète dessiccation. Nous avons donné l'analyse des échantillons de poudrettes de deux qualités.

Engrais flamand (1). — Cet engrais, si utile en Flandre et dans la Belgique, se compose de tous les produits

---

(1) Nous devons à l'obligeance de M. le professeur Kulhmann, de Lille, les données suivantes :

« L'engrais flamand est conservé en citernes d'une contenance de 2 à 3000 hectolitres; on y met l'engrais en toute saison, c'est-à-dire chaque fois que les travaux des champs permettent d'en faire le transport de la ville à la citerne. A Lille, on le paye 25 cent. l'hectol. Pour être d'un bon emploi, il doit avoir fermenté pendant quelques mois : à cet effet, on ne vide jamais entièrement la citerne; on en ajoute d'autre à mesure qu'on en tire pour les besoins; il n'éprouve pas de perte dans sa qualité, même par un séjour de trois années.

» La fermentation lui donne plutôt de la viscosité que de la liquidité.

» S'il contient beaucoup de matières solides, son action sur la végétation est de plus longue durée que s'il est formé en grande partie d'urine; en ce

mélangés des vidanges que l'on conserve liquides dans de grandes citernes voûtées et closes; on y ajoute parfois de l'eau d'une part et de l'autre des engrais solides, tels que des tourteaux, afin de les désagréger et de les faire gonfler et imbiber de la solution.

---

dernier cas il n'en est pas moins estimé, car alors son action est plus instantanée; mais en aucun cas l'engrais en question ne stimule plus la végétation un an après qu'il a été répandu sur les terres.

» Un hectolitre d'engrais fermenté équivaut à 250 kilogr. environ de fumier de cheval (paille des litières à demi putréfiée).

» L'usage, assez général, a consacré la rotation de culture suivante :

» Première année, en octobre ou novembre : couvrir la terre de fumier long ordinaire, l'enterrer avec la charrue, répandre 600 hectol. d'engrais liquide par hectare, labourer encore, et planter du colza.

» Deuxième année : labourer, répandre 120 à 150 hectol. d'engrais par hectare, et semer du blé (en automne).

» Troisième année : 120 hectol. d'engrais, et semer de l'avoine (en automne).

» Si l'état des chemins, ou quelque autre circonstance, empêche de répandre l'engrais immédiatement avant les semailles, on peut le faire en mars, et alors il en faut même un cinquième de moins pour obtenir les mêmes résultats; mais on l'évite autant que possible, parce que les chevaux et le chariot qui doivent circuler sur le champ pour répartir uniformément l'engrais, détruisent une partie des récoltes.

» Quelquefois on jette dans la citerne des tourteaux réduits en poudre, mais seulement quand l'engrais flamand est trop allongé d'eau, ou qu'on en manque.

» On emploie encore les tourteaux en poudre, en les semant secs sur les plantations de colza quand, par quelque circonstance, on a été empêché de fumer convenablement le terrain avant la plantation.

» Après la plantation, il est impossible que les chariots chargés de tonneaux arrivent sur le champ de colza, et alors le tourteau reste la seule ressource. On peut sans danger pour les plantes les arroser avec l'engrais liquide en toute saison, excepté pendant la sécheresse.

» Pour les terrains humides, et dans les années pluvieuses, la fumure peut être ménagée : le blé est moins exposé *à verser*.

» Dans tous les cas l'excès de fumure est beaucoup moins nuisible que le manque d'engrais. Pour les betteraves on emploie utilement jusqu'à 1500 hectolitres d'engrais liquide par hectare.

» On reconnaît la qualité de l'engrais à son odeur, sa viscosité au moment de l'extraction des fosses et à *sa saveur piquante et salée*.

» Lorsque la betterave est destinée à la fabrication du sucre, on évite tout emploi d'engrais flamand. L'expérience a démontré l'influence fâcheuse de cet engrais sur la qualité de la betterave et sa transformation en sucre. »

En rendant peu variable la température des fosses flamandes et excluant l'air libre, on est parvenu à retarder beaucoup la fermentation; la grande quantité d'eau que l'engrais recèle fournit d'ailleurs au sol au moment où on le répand, soit en arrosages uniformes, soit en dépôt près de chaque pied des plantes sarclées, une des conditions les plus utiles à la végétation; si l'on ajoute que l'engrais ainsi préparé, et quoique très-étendu, exhale promptement des gaz assimilables, on comprendra comment, malgré son faible titre, il peut avoir une première action énergique. Enfin on ne doit pas oublier que cet élan donné à la végétation rend la plante apte à profiter mieux de la nourriture que lui offre spontanément l'atmosphère ambiante (1).

Résidus de colle d'os. — Les os fondus, ainsi que les os dits de déchets de tabletiers que l'on traite en grand dans des chaudières autoclaves, analogues au digesteur de Papin, donnent assez économiquement une gélatine plus ou moins altérée et soluble à froid; ils laissent un résidu abondant en phosphate et en carbonate de chaux, mais pauvre en substance azotée, d'autant plus pauvre que la gélatine soluble, humide et chaude, se décompose rapidement à l'air et occasionne le dégagement d'abondantes vapeurs ammoniacales. Quant à la substance azotée qui reste, on conçoit que ce doive être une partie du tissu organique non susceptible d'être convertie en gélatine; que d'ailleurs ayant résisté à l'eau sous une température de 110° environ et à la fermentation vive de la gélatine, elle devra résister longuement aux influences atmosphériques. Ces notions expliquent le peu d'énergie du résidu de colle d'os dans les applications que l'on a tenté d'en faire; il doit donc être considéré généralement comme inférieur même à son titre, déduit de l'azote qu'il peut donner.

---

(1) L'échantillon d'engrais flamand que nous avons examiné provient de Lille; il nous a été remis par M. le professeur Kuhlmann.

On comprendra bien aussi qu'en certains cas particuliers des anomalies apparentes aient été offertes par les os employés comme engrais et indépendamment de leur titre en azote ; ainsi les os gras et secs qui ont absorbé la graisse, primitivement isolée, dans leurs cavités, tandis qu'ils étaient humides, sont alors devenus difficiles à décomposer, s'ils ne sont très-divisés, et encore résistent-ils longtemps. Les os fondus traités dans des chaudières autoclaves, mais avec une quantité d'eau suffisante, soit qu'on les dessèche aussitôt pour les mettre en réserve ou qu'on les répande immédiatement sur le sol, peuvent être considérés comme des engrais actifs, car ils contiennent de la gélatine soluble et très-altérable.

Avant de parler des engrais désinfectés, nous devons dire un mot encore de quelques anomalies apparentes, relatives à des résidus connus sous les dénominations de *suies de bois, sables et vases de mer et de rivières, coquilles d'huîtres et cendres noires de Picardie.*

Les *suies* de bois et de houille produisent en général des effets utiles comme engrais : agissent-elles conformément aux principes que nous avons énoncés? On en pouvait douter, par la raison qu'elles sont engendrées dans des circonstances où la matière organique exhale les produits volatils de sa décomposition ; mais l'analyse est venue prouver que la suie retient une quantité notable de ces produits.

Celle qui provient de la houille vaudrait, d'après son titre, 3 fois $\frac{1}{3}$, et celle du bois près de 3 fois le fumier de ferme. La même explication s'appliquerait au goëmon dit *brûlé*, mais qui retient en effet assez de matière azotée pour donner directement des vapeurs ammoniacales.

On pourrait s'étonner que les sables de mer et la vase de la rivière de Morlaix fussent à juste titre estimés en Bretagne, si l'on ne tenait compte de ce que la substance azotée peu abondante, il est vrai, n'y est pas, comme dans les tourbes, accompagnée d'une grande quantité de matière

organique non azotée. L'effet parfois avantageux des coquilles d'huîtres peut s'expliquer de même et tenir en outre à l'amendement calcaire et au stimulant salin qu'elles introduisent dans le sol.

Les sables de mer le plus employés en agriculture se désignent, dans la Bretagne, sous les noms de merl et de trèz ou tangue.

Le *merl* (1), appelé aussi *sable de mer, sable vermiculaire, fond de corail* (Millepora polymorpha, var. rubescens; Esper, P. flangenthiere; Millepora, Nullipora informis, Lamark), est chimiquement composé, pour la plus grande partie, de concrétions calcaires contenant environ 0,03 de substance organique, riche en azote ; il est mêlé de coquillages et de divers débris, et répand une odeur sensible de marée ; on le trouve en abondance dans la mer à l'embouchure de la rivière de Morlaix où il s'en fait à la drague une exploitation considérable pour l'engrais et l'amendement des terres. Il s'y régénère, dit-on, lentement ; de temps à autre on en découvre des bancs nouveaux.

L'extraction du merl se fait dans des gabarres, à l'aide de dragues, du 15 mai au 15 octobre ; les quais de Morlaix en sont couverts en cette saison, on l'enlève journellement par charretées que l'on transporte jusqu'à cinq lieues dans les terres ; une gabarée formant sept de ces charges et pesant environ 7000 kilogrammes se vend de 8 à 10 francs, prix qui paraît devoir s'élever encore en raison des nombreuses demandes des agriculteurs. On tire maintenant du merl sur la côte de Planeour-trez ; dans la rade de Brest, on en a découvert près de l'embouchure de la rivière de Quimper ; enfin il paraît que le sable de mer employé par les agriculteurs anglais des comtés de Devonshire et du Cornwall est de même nature. Dans l'arrondissement de Morlaix, on emploie de 14 000 à 28 000 kilogrammes de merl par hectare

(1) Du mot anglais *marl*, en français *marne*.

de terre, la plus grande proportion est avantageuse sur les terres humides et fortes, tandis qu'elle aurait trop d'action sur les terres sèches et légères.

Cela nous paraît tenir à la facile décomposition de la substance azotée de cet engrais qui permettrait de le ranger dans la classe des fumiers chauds analogues à la colombine, etc.

Le merl calciné dans un tube donne directement des vapeurs ammoniacales à réactions très-alcalines.

Sans aucun doute le *merlage* agit efficacement aussi, en raison de son abondante matière calcaire sur les sels argilo-siliceux de la Bretagne; on en a obtenu des effets particuliers fort avantageux et faciles à comprendre sur des terres contenant des pyrites effleuries, l'expérience a d'ailleurs appris que l'addition du merl favorise beaucoup l'action du fumier. On préfère généralement employer cet engrais récemment tiré de la mer, avant qu'un commencement de désagrégation lui ait fait perdre une partie de ses qualités; toutes ces pratiques s'accordent parfaitement avec les données théoriques exposées dans nos considérations générales.

Trez. — Ce sable de mer constitue le sol des plages en pentes douces en diverses localités dans l'arrondissement de Morlaix; c'est le même sable fin que l'on désigne sous le nom de *tangue* ou *tanque* sur nos côtes septentrionales.

Favorable à la végétation, surtout lorsque les lavages ont enlevé une grande partie du sel dont il est imprégné, on le répand en quantités plus considérables que le merl; il convient d'ailleurs de l'employer récemment lavé, après son extraction de la mer, car son exposition aux influences atmosphériques tarde peu à diminuer ses propriétés fertilisantes, dès que le sel en a été enlevé par les eaux pluviales; cela se conçoit d'après son faible équivalent en substances azotées, faciles à décomposer, et l'on comprend aussi que cette altération de la partie organique de l'engrais ait fait distinguer celui-ci sous le nom de *trez mort*. Au

surplus, les incrustations en dépôts calcaires, d'abord désagrégées par suite de l'altération des matières organiques interposées, rendent la substance plus onctueuse au toucher ou plus *grasse;* puis, quelquefois entraînées après leur désagrégation, laissent à la surperficie des plages le sable quartzeux plus complétement dépouillé et plus inerte encore. Le trez, plus que le merl, agit en allégeant les sols compactes; sa forme grenue permet de l'employer directement pour ameublir les terrains maraîchers, où sa substance calcaire et sa matière organique complètent l'action du fumier. Les cultivateurs de ces terrains répandent jusqu'à 40 000 kilogrammes de trez par hectare, afin de *tréser* le fonds qu'ils entretiennent par un moins abondant trézage; tous les trois ans, ils font succéder aux plantes maraîchères des céréales en quantités suffisantes, seulement pour la consommation de leurs familles. Leurs récoltes sont en général d'une beauté remarquable.

Voici l'analyse de la tangue vive et morte, ou grasse, d'après M. Vitalis :

TANGUE.	VIVE.	MORTE.
Eau	6	3,50
Oxyde de fer	0,60	1,10
Sable micacé	20,30	40
Argile	4	3,50
Carbonate de chaux	66	47,50
Perte	3,10	4,40

Nos tableaux donnent le dosage de l'azote y contenu, son titre et son équivalent, qui représenteraient en substance organique à peu près les proportions de la perte dans les compositions ci-dessus indiquées.

Cendres noires de Picardie. — On vend sous ce nom une substance terreuse, noirâtre, formée en partie par la

désagrégation des schistes pyriteux; sur quelques terres abondantes en carbonate de chaux, cette matière a paru produire de bons effets pour les prairies; on pourrait l'attribuer : 1° au sulfate de chaux qu'aurait formé la réaction du sulfate de fer; 2° à l'influence de la faible dose de substance azotée indiquée par nos analyses; mais d'affligeants mécomptes ont eu lieu lorsque ces terres pyriteuses, à réaction acide, ont été livrées sous le nom de *noir animal*, et ont produit sur des sols très-pauvres en calcaire des effets contraires à ceux qu'on attendait de l'engrais puissant dont il nous reste à décrire la composition et les effets.

Engrais désinfectés.

Noir animal des raffineries. — En thèse générale, les plantes profitent d'autant mieux des émanations des engrais, que ceux-ci suivent de plus près, dans leur décomposition, les progrès du développement des végétaux. Ce principe posé, nous avons vu comment on est parvenu à modifier utilement les débris organiques très-durs en les divisant beaucoup, et les substances molles trop altérables en augmentant au contraire leur résistance par une cohésion plus forte. On comprend que différents moyens de ralentir la putréfaction puissent conduire au même but : aucun exemple n'est plus remarquable sous ce rapport que l'influence du charbon d'os, qui modère la décomposition du sang dans le noir animal provenant des opérations du raffinage.

Ce résidu était jeté aux décharges publiques, lorsque l'un de nous fit connaître, en 1824, ses propriétés comme engrais; depuis lors, plus de 10 millions de kilogrammes ont chaque année enrichi notre agriculture, notamment dans les départements de l'ouest, et les importations de noir animal des raffineries étrangères sont venues concourir à ce débouché nouveau, qui s'étend aujourd'hui dans les cultures de l'Orne, du Calvados et de plusieurs autres départements.

L'engrais en question est composé de charbon d'os en poudre fine, aggloméré par le sang que l'on emploie pour la clarification des sirops, et qui se coagule dans les chaudières : ce mélange retient interposée la faible proportion de solution sucrée que les lavages et la pression n'ont pu extraire. Il contient à l'état sec de 20 à 22 centièmes de sang, auquel il doit son action principale, mais dont il modère, d'une manière tellement convenable, la décompositon dans le sol, que cette quantité de matière organique agit de cinq à six fois plus que le sang employé seul. C'est un fait si bien reconnu en pratique aujourd'hui, que tout le noir résidu des raffineries réalise comme engrais une valeur proportionnée à sa réaction, c'est-à-dire égale à celle d'une quantité sextuple de sang ou d'une quantité équivalente des différents engrais (1).

---

(1) En effet, 1 hectol. de noir résidu humide pèse 100 kilogr., et coûte aux agriculteurs de 12 à 14 fr. 50 cent. en Bretagne et en Normandie; les 38 à 40 kilogr. de sang coagulé qu'il contient représentent 11 à 12 kilogr. de sang desséché, dont la valeur commerciale à Paris est de 2 fr. à 2 fr. 10 cent.

Voici une autre conséquence remarquable de ces faits : les raffineurs de sucre, qui vendent de 7 fr. à 7 fr. 50 cent. 1 hectol. d'engrais contenant au plus 50 kilogr. de noir d'os, obtiennent aujourd'hui de ce *résidu* un prix plus élevé que la valeur totale du noir fin et du sang employés dans leurs clarifications.

L'importance du commerce des résidus de raffineries et quelques plaintes sur leur qualité fixèrent l'attention du Conseil général de la Loire-Inférieure en 1838, et par suite le préfet nomma un inspecteur chargé de la vérification de ces engrais, livrés par le commerce de Nantes aux agriculteurs des départements de la Loire-Inférieure, de la Vendée, d'Ille-et-Vilaine, de Maine-et-Loire et du Morbihan.

Nous croyons devoir faire observer ici que la détermination de la matière organique dans les essais des résidus de raffinerie ne saurait suffire, car on s'exposerait à confondre ainsi avec le principe utile (le sang) plusieurs substances végétales (tourbes, sciures de bois, etc.), capables d'appauvrir l'engrais plutôt que de l'enrichir. Il convient donc encore ici de s'attacher au dosage de l'azote.

Les quantités de noir-engrais entrées en Loire se sont élevées annuellement, terme moyen, en 1837, 1838 et 1839, à 10,872,000 kilogr.; ils provenaient de Marseille, Paris, Orléans, Nantes, Bordeaux, Dunkerque, Honfleur, et des importations étrangères par Hambourg, Amsterdam, Londres, Cologne, Gênes et Trieste, de Russie et de Bavière.

Les propriétés fertilisantes du noir ont permis d'utiliser doublement les marcs de colle d'os, qui longtemps furent sans emploi; car ceux-ci, convertis en noirs décolorants, granulés et pulvérulents, servent, sous cette dernière forme, à la clarification dans les chaudières, et laissent en définitive le *noir résidu* applicable, comme nous venons de le dire, à l'agriculture.

On avait cru pouvoir attribuer les effets surprenants du noir des raffineries, soit au carbone, soit au phosphate de chaux; mais, d'une part, le charbon d'os sans mélange, essayé dans les mêmes conditions, ne produisit que très-peu d'effet; et, d'un autre côté, les phosphate et carbonate de chaux, provenant des os brûlés ou des résidus de colle d'os, n'eurent aucune action sensible sur la végétation. Sans doute les propriétés absorbantes d'un charbon poreux, tel que celui des os, ont une utilité réelle dans les terres en culture; mais ce n'est qu'à la longue qu'elles se peuvent faire sentir.

Une anomalie digne de remarque s'est offerte relativement aux résidus des raffineries; répandus peu de temps après leur arrivée des fabriques, ils ont produit des effets variables, et parfois ont paru nuire à la végétation, tandis que mis en tas pendant un mois ou deux avant d'être employés, leur effet plus constant fut toujours favorable : c'est qu'alors ces résidus étaient moins bien épuisés de sucre qu'aujourd'hui. Les premières réactions produisaient de l'alcool, des acides carbonique, lactique et acétique, jusqu'au moment où la matière animale, prenant une large part à la décomposition, pouvait donner des produits azotés où dominait, à son tour, la réaction alcaline favorable.

Noir animalisé. — Lorsque la valeur des résidus de raffinerie fut bien constatée, la production devint insuffisante, et une fabrication spéciale, venant y suppléer, confirma les données précédentes par des faits nouveaux, non moins remarquables : on parvint, en effet, à préparer une sorte de

noir factice, en fabriquant d'abord une substance charbonneuse avec de la terre végétale calcaire, calcinée au rouge-brun en vases clos : le charbon terreux, mélangé à deux ou trois reprises avec de la matière fécale jusqu'à saturation de la propriété désinfectante, reçut ensuite 4 à 5 centièmes de sang coagulé et pressé.

L'engrais ainsi obtenu réunit sensiblement les mêmes qualités que le noir des raffineries ; son titre est, en général, un peu plus élevé, comme le montrent nos analyses.

Cette fabrication nouvelle présente un autre genre d'intérêt : elle permet de désinfecter, au moment même de la vidange des fosses, les matières stercorales, dont les exhalaisons morbifiques cessent à l'instant. On pourra, par l'application bien entendue de ce moyen, éviter de compromettre la santé et la vie des hommes chargés de vider les fosses ; faire cesser les incommodes émanations des voiries près des grandes villes (1) ; fumer abondamment les plantes comestibles les plus absorbantes dans leurs parties vertes, sans leur faire contracter la moindre odeur étrangère ; fertiliser, enfin, les prairies destinées à nourrir les vaches laitières, sans craindre de communiquer à leurs produits les plus délicats aucune mauvaise qualité.

Dans plusieurs localités, en France et à l'étranger, ces procédés de désinfection économique, recommandés par le suffrage de l'Académie des Sciences, ont réalisé les avantages qu'on s'en était promis.

Ces importantes opérations, ainsi que la préparation de plusieurs sortes d'engrais riches, seront à l'abri des erreurs et des fraudes qui menacent de compromettre leur avenir,

---

(1) On a dernièrement adopté cette méthode de vidange salubre dans les camps formés sous Paris. La propriété désinfectante réside à la fois dans la porosité de la matière charbonneuse qui absorbe les gaz, et dans la présence d'une petite quantité de chaux qui, décomposant le sulfhydrate d'ammoniaque, substitue à l'odeur infecte de ce composé une odeur légère et fugace d'ammoniaque à peine altérée.

lorsque les fabricants, les consommateurs et les négociants intermédiaires s'accorderont pour baser toutes leurs transactions sur le titre des produits, établi en dosant l'azote (1).

Les résultats de nos observations agricoles et de nos analyses comparées concourent à expliquer les effets d'une opération importante en économie rurale, mais dont il serait, en certains cas, bien difficile de comprendre l'utilité, si l'on s'en tenait à la théorie qui attribue à l'*humus végétal*, à l'*acide ulmique*, une prépondérance marquée parmi les engrais.

L'influence favorable de l'*écobuage*, appliqué aux terres compactes, abondantes en débris végétaux, nous paraît consister : 1° dans la destruction de l'excès du résidu organique trop pauvre en substances azotées ; 2° dans la transformation de la couche superficielle du sol en une terre charbonneuse, absorbante, capable de retenir une partie des vapeurs ammoniacales dégagées pendant la calcination, de faciliter l'infiltration des eaux, de modérer la décomposition de la matière organique des engrais, et de condenser les gaz azotés produits de leur fermentation ; 3° dans la décomposition des sels végétaux en carbonates, qui exercent une action alcaline utile à la végétation.

Dans un travail prochain, nous continuerons l'examen chimique des engrais que nous n'avons pu nous procurer jusqu'à présent, et en particulier des feuilles d'arbres qu'il convient, sous ce rapport, d'analyser à l'époque de leur chute automnale.

---

(1) On voit combien il eût été facile de déceler ainsi des mélanges contenant de 0,50 à 0,90 de poussier de houille, de charbon de bois ou de cendres noires de Picardie, et vendus comme *noirs animalisés*, ou comme *noirs résidus des raffineries*.

TABLEAU des analyses et valeurs comparées des engrais.

DÉSIGNATION des SUBSTANCES.	EAU normale.	POIDS de la matière sèche analysée	AZOTE obtenu en centimètres cubes.	Température.	Pression.	AZOTE dans la substance séchée.	AZOTE dans la substance non desséch.	TITRE.		REMARQUES.
								Substance sèche.	Substance à l'état normal.	
		gr.	c. cub.	o	m.					
Fumier de ferme	79,3	4,0755	66,1	9,2	0,745	1,95	0,40	100	100	
Paille de pois	8,5	0,600	10,0	10,5	0,744	1,95	1,79	100	447,5	
Paille de millet	19,0	0,600	5,0	10,0	0,732	0,96	0,78	49	195	
Paille de sarrasin	11,6	0,500	2,3	9,5	0,745	0,54	0,48	27	120	
Paille de lentilles	9,2	0,600	5,7	10,5	0,743	1,12	1,01	57	250	
Paille de froment	19,3	0,600	1,7	13,6	0,747	0,30	0,24	15	60	
Id. *id.*	5,3	0,555	2,5	16	0,762	0,53	0,49	27,1	122,5	Ancienne 1840, environs de Paris.
Id. *id.*	5,3	0,723	2,8	16,5	0,764	0,43	0,41	22	102,50	Partie inférieure, 0,67 de la longueur.
Id. *id.*	9,4	0,474	5,8	16	0,762	1,42	1,33	72,82	332,5	Partie supérieure, épis battus compris, 0,33 de la longueur (1).
Paille de seigle	12,2	0,600	1,2	13,0	0,747	0,20	0,17	10	42,5	
Id. *id.*	12,6	0,524	2,2	17,5	0,758	0,50	0,42	25,6	105	Récolte 1841, environs de Paris.
Paille d'avoine										

Tiges sèches de topinambour.....	12,9	0,553	1,3	13,0	0,746	0,45	0,37	22	98,5	
Fanes de madia.....	14,3	0,860	2,0	16,3	0,767	0,66	0,57	33	142,5	
Herbe d'une prairie naturelle.....	87,5	0,654	27,5	12,66	0,763	4,29	0,53	220	132,5	Graminées.
Genet.....	10,4	0,531	6,2	17,2	0,794	1,37	1,22	70	305	Tiges et feuilles.
Fanes de betteraves vertes.....	88,9	0,500	19,0	7,5	0,745	4,50	0,50	230	125	
Fanes de pommes de terre.....	76,0	0,476	9,5	10,0	0,745	2,30	0,55	117	137,5	Fanes de la récolte.
Fanes de carottes.....	70,9	0,600	15,3	9,5	0,728	2,94	0,85	150	212,5	
Feuilles de bruyère..... ...	7,0	1,082	18,0	11,0	0,753	1,90	1,74	97	435	Séchées à l'air.
Fucus digitatus.....	39,2	0,788	9,5	13,5	0,755	1,41	0,86	72	215	
Id. *id.*.....	40,0	1,451	19,5	14,0	0,761	1,58	0,95	81	237,5	
Id. saccharinus.....	40,0	1,170	32,0	13,0	0,755	2,29	1,38	117	345	Séché à l'air.
Id. *id.*.....	75,5	»	»	»	»	»	0,54	»	135	Sortant de la mer.
Touraillons.....	6,0	0,897	38,0	15,5	0,751	4,90	4,51	251	1127,5	Les racines desséchées à l'air.
Racine de trèfle enfoui.....	9,7	0,638	9,5	10,0	0,746	1,77	1,61	90	402,5	
Tourteau de lin.....	13,4	0,500	25,3	9,0	0,750	6,00	5,20	307	1300	
» de colza.....	10,5	0,500	22,7	5,0	0,749	5,50	4,92	282	1230	
» d'arachis.	6,6	0,801	57,6	17,0	0,751	8,89	8,33	455	2082,5	
» de madia.....	11,2	0,442	22,0	20,0	0,755	5,70	5,06	292	1265	
» d'épuration.....	10,0	0,455	15,4	17,2	0,755	3,92	3,54	201	885	Des graisses vertes par la sciure de peuplier (2).
» d'épuration.....	7,67	4,246	21,5	19,66	0,767	0,58	0,54	30	135	De l'huile de poisson par la sciure de peuplier.

(1) Le rapport en poids des 0,67 de la longueur dans la partie inférieure aux 0,33 dans la partie supérieure est comme 93 est à 23.

(2) Nom des graisses de ménage recueillies dans les grandes villes par les fondeurs de suif d'os.

TABLEAU des analyses et valeurs comparées des engrais. (Suite.)

DÉSIGNATION des SUBSTANCES.	EAU normale.	POIDS de la matière sèche analysée	AZOTE obtenu en centimètres cubes.	Température.	Pression.	AZOTE dans la substance séchée.	AZOTE dans la substance non desséch.	TITRE. Substance sèche.	TITRE. Substance à l'état normal.	REMARQUES.
		gr.	c. cub.	o	m.					
Graines de lupin blanc.....	10,5	0,806	27,6	12,85	0,762	4,35	3,49	223	872,5	Bouillies et séchées, Toscane.
Marc de raisin.....	48,2	0,6865	19,7	18,5	0,755	3,31	1,71	169	427,5	
Id. id......	»	2,055	62,0	17,0	0,768	3,56	1,83	182	457,5	
Pulpe de betteraves.....	9,3	0,390	4,2	15,0	0,754	1,26	1,14	64	285	Séchée à l'air.
Id. id......	70	»	»	»	»	»	0,378	64	85	Sortant de la presse.
Id. de pommes de terre.....	73,0	1,130	19	18	0,7635	1,95	0,526	100	131,5	Pressée.
Suc de pommes de terre.....	95,4	0,373	26,5	17,66	0,7635	8,28	0,376	424,6	94	Reposé quatre heures et décanté.
Eaux des féculeries.....	99,15	»	»	»	»	8,28	0,070	424,6	17,5	Lavage à 4 vol. d'eau.
Id. id......	99,25	»	»	»	»	8,28	0,062	424,6	15,5	Lavage à 5 vol. d'eau.
Dépôts des eaux de féculeries.....	80	0,759	18	19	0,757	1,81	0,36	92	90	Égouttés en tas.
Id. id......	15	»	»	»	»	1,81	1,538	92	384,5	Séchés à l'air.
Eaux de fumiers.....	99,6	0,651	20	13	0,768	1,54	0,059	78	1,475	Lavage, pluies de l'année.
Sciure de bois d'acacia.....	25,0	0,755	2,5	13,0	0,755	0,38	0,29	19	72,5	Séché à l'air.
Id. id......	25,0	1,021	2,75	18,0	0,762	0,31	0,23	15	57,5	*Id.*

Urine de vaches	88,3	1,173	39,0	16,0	0,736	3,80	0,44	194	110	
Excréments mixtes de vaches	84,3	»	»	»	»	2,59	0,41	132	102,5	Résultat calculé.
Id. solides de cheval	75,3	1,126	21,0	12	0,755	2,21	0,55	113	137,5	
Urine de cheval	79,1	1,218	126,0	12,4	0,766	12,50	2,61	641	652,5	Le cheval buvait très-peu.
Excréments mixtes de cheval	75,4	»	»	»	»	3,02	0,74	154	185	Son urine très-épaisse.
Id. de porcs	81,4	0,995	29,3	20,0	0,754	3,37	0,63	172	157,5	
Id. de moutons	63,0	0,890	23,0	19,8	0,762	2,99	1,11	153	277,5	
Id. de chèvres	46,0	0,873	29,0	18,0	0,764	3,93	2,16	201	540	
Colombine	9,6	0,8335	64,8	16,3	0,765	9,02	8,30	462	2075	De Bechelbronn.
Engrais flamand liquide	»	3,671	5,8	15,3	0,756	»	0,19	»	47,5	Analysé à l'état normal.
Id. *id.*	»	2,871	5,5	14,7	0,754	»	0,22	»	55	*Id.* *id.*
Poudrette de Belloni	12,5	0,927	34,0	11,0	0,762	4,40	3,85	225	962,5	Séchée à l'air.
Id. de Montfaucon	41,4	1,937	45	19	0,760	2,67	1,56	137	390	
Coquilles d'huîtres	17,9	1,995	6,8	13,0	0,751	0,40	0,32	20	80	
Goëmon, di *brûlé*	3,8	0,864	3,0	19,0	0,753	0,40	0,38	20	95	
Suie de houille	15,6	0,685	8,1	18,5	0,753	1,59	1,35	81	337,5	
Id. de bois	5,6	0,650	7,4	19,8	0,755	1,31	1,15	67	287,5	
Vase de la rivière Morlaix	3,7	0,965	3,5	18,5	0,752	0,42	0,40	21	100	
Trez de la rade de Roscoff	0,5	0,791	0,9	16,8	0,767	0,14	0,13	7	32,5	Sable de mer.
Merl	1,038	5,598	25	18,5	0,763	0,517	0,512	26,5	128	*Id.* *id.*
Cendres de Picardie	9,2	0,491	3,0	15,0	0,755	0,71	0,65	36	162,5	Séchée à l'air.
Chair musculaire sèche	8,5	0,422	52,0	17,0	0,757	14,25	13,04	730	3260,0	Séchée à l'air.
Morue salée	38	0,6765	64,0	20,0	0,7625	10,862	6,700	557,0	1675,0	Eau et sel.

TABLEAU des analyses et valeurs comparées des engrais. (Suite.)

DÉSIGNATION des SUBSTANCES.	EAU normale.	POIDS de la matière sèche analysée	AZOTE obtenu en centimètres cubes.	Température.	Pression.	AZOTE dans la substance séchée.	AZOTE dans la substance non desséch.	TITRE. Substance sèche.	TITRE. Substance à l'état normal.	REMARQUES.
		gr.	c. cub.		m.					
Morue lavée, pressée	10	0,499	80,50	19	0,7675	18,74	16,86	961	4215,0	Séchée à l'air.
Sang sec, soluble	21,43	0,318	42,5	18	0,763	15,503	12,18	795	3045,0	Tel qu'on l'expédie.
Id. liquide	81,01	»	»	»	»	»	2,945	795	736	Des abattoirs.
Id. *id*	82,5	»	»	»	»	»	2,712	795	580	Des chevaux épuisés.
Id. coagulé et pressé	73,45	0,316	47,25	22	0,7627	17	4,514	871	1128,5	Sortant de la presse.
Id. sec, insoluble	12,5	»	»	»	»	17	14,875	871	3719,0	Séché en grand.
Plumes	12,9	0,64	9,6	15,0	0,755	17,61	15,34	903	3835,0	
Bourre de poils de bœufs	8,9	0,180	23,4	15,2	0,750	15,12	13,78	775	3445,0	
Chiffons de laine	11,28	0,267	46,5	18,5	0,763	20,26	17,978	1038,9	4494,7	
Râpure de corne	9,0	0,184	25,1	17,2	0,752	15,78	14,36	809	3590	
Hannetons	77	0,607	74	21	0,7625	13,931	3,204	714,4	801,0	
Os fondus	7,49	0,473	30,5	16,75	0,766	7,58	7,016	388	1754,0	Séchés à l'air.
Id. humides	30	»	»	»	»	»	5,306	»	1326,5	Livrés par les fondeurs
Id. gras à l'air	8	»	»	»	»	»	6,215	»	1553,75	Conten. 0,10 de graisse.
Résidus de colle d'os	42,0	4,860	38,5	18,55	0,758	0,912	0,528	46,7	133	
Marcs de colle	33,61	0,876	43,0	18,50	0,754	5,625	3,734	288,4	933,5	Livrés par les fabric

TABLEAU synoptique des équivalents de divers engrais.

SUBSTANCES.	ÉQUIVALENT de la substance sèche.	ÉQUIVALENT de la substance à l'état normal.	OBSERVATIONS.
Fumier de ferme.....	100	100	
Paille de pois.....	100	22,3	
Id. de millet.....	203	51,28	
Id. de sarrasin.....	361,1	83,33	
Id. de lentilles.....	174	39,6	
Id. de froment.....	650	166,66	
Id. *id.*.....	367	81,6	Ancienne, des environs de Paris.
Id. *id.*, partie inférieure.....	453,4	97,5	Les 0,67 de la longueur.
Id. *id.*, partie supérieure.....	137,3	30,0	Les 0,33 de la longueur.
Id. de seigle.....	975	235,2	
Id. *id.*.....	390	95	1841, environs de Paris.
Id. d'avoine.....	541,66	142,85	
Id. d'orge.....	750	173,9	
Balles de froment.....	207,4	47	
Tiges sèches de topinambour.....	453,48	108,1	
Fanes de madia.....	295,45	70,1	
Genet.....	142,3	32,78	
Fanes de betteraves vertes.....	43,3	80	
Id. de pommes de terre.....	84,78	72,72	
Id. de carottes.....	66,3	47	
Feuilles de bruyère.....	102,6	22,9	
Fucus digitatus.....	138,8	46,5	
Id. *id.*.....	123,4	42,1	
Id. saccharinus.....	85	28,9	
Id. *id*.....	»	74	Sortant de la mer.
Tourailons.....	39,7	8,8	
Racines de trèfle enfouies.....	110,16	24,8	

TABLEAU synoptique des équivalents de divers engrais. (Suite.)

SUBSTANCES.	ÉQUIVALENT de la substance sèche.	ÉQUIVALENT de la substance à l'état normal.	OBSERVATIONS.
Tourteau de lin.....	32,5	7,69	
Tourteau de colza.....	35,45	8,13	
Id. d'arachis hypogea.....	21,19	4,62	
Id. de madia sativa.	34,2	7,9	
Id. d'épuration...	332,0	74,97	De l'huile de poisson par la sciure de peuplier.
Id. *id*.....	49,7	11,3	Des graisses vertes, par la sciure de peuplier.
Graines de lupin blanc.	44,8	11,4	
Marc de raisins.....	58,9	23,39	
Id. *id*.....	54,77	21,85	
Pulpe de betteraves.....	154,7	35	Séchée à l'air.
Id. *id*.....	»	105,8	Sortant de la presse.
Pulpe de pommes de terre.....	100	76	
Suc de pommes de terre.	23,30	106,38	
Eaux des féculeries....	»	571,42	De lavages par 4 volumes d'eau.
Id. *id*.....	»	645,16	*Id.* 5 volumes d'eau.
Dépôt des eaux des féculeries.....	107,7	111,1	Égouttés en tas.
Id. *id*.....	»	24,5	Séchés à l'air.
Eaux de fumiers	126,6	67,7	Du lavage par les pluies de l'année.
Sciure de bois d'acacia..	513,1	137,9	Séchée à l'air.
Id. *id*	629,3	173,9	*Idem.*
Id. de bois de sapin.	886,3	250	*Idem.*
Id. *id*.....	629,3	173,9	*Idem.*
Id. de bois de chêne.	256	74	*Idem.*
Excréments solides de vache.....	84	125	

EAU synoptique des équivalents de divers engrais. (Suite.)

STANCES.	ÉQUIVALENT de la substance sèche.	ÉQUIVALENT de la substance à l'état normal.	OBSERVATIONS.
le vache.....	51,3	90,9	
ents mixtes de	75,2	97,5	Résultat calculé.
olides de cheval.	88,2	72,7	
le cheval.....	15,5	15,3	Le cheval buvait peu, urine épaisse.
ents mixtes de	64,05	54	
de porcs....	57,86	63,4	
de moutons.	65,2	36	
de chèvres..	49,6	18,5	
ine.....	21,6	4,8	
flamand liquide.	»	210,5	
id. *id* ...	»	181,8	
te de Belloni...	44,3	10,3	Séchée à l'air.
de Montfaucon.	73	25,6	Telle qu'on la livre aux cultivateurs.
es d'huitres.....	487,5	125	
n, dit *brûlé*.....	487,5	105,26	
houille.	122	29,62	
bois.....	148,85	34,78	
e la rivière Mor-	464,28	100	
la rade de Ros-	1392,85	307,69	
.....	377,17	78,1	
s de Picardie....	274,6	61,5	
nusculaire sèche.	13,6	3,06	
salée.....	17,95	5,97	
lavée et pressée.	10,40	2,37	
ec (soluble).....	12,64	3,28	
liquide.....	»	13,3	
id.	»	14,74	
coagulé et pressé.	11,47	8,86	
insoluble sec....	11,47	2,69	
.....	11	2,60	

TABLEAU synoptique des équivalents de divers engrais. (S

SUBSTANCES.	ÉQUIVALENT de la substance sèche.	ÉQUIVALENT de la substance à l'état normal.	OBSERVATIO
Bourre de poils de bœufs.	12,89	2,9	
Chiffons de laine.....	9,62	2,22	
Râpure de corne.....	12,35	2,78	
Hannetons.....	14,14	12,7	
Id fondus.....	25,72	5,70	
Id. humides.....	»	7,54	
Id. gras (à l'air).....	»	6,43	
Résidus de colle d'os...	213,8	75,75	
Marcs de colle.....	34,6	10,8	
Pain de creton.....	15,07	3,36	
Noir animal des raffineries.....	(1)95,5	37,7	(1) L'effet réel de c derniers est quinte celui indiqué par le l'équivalent. (V. pag
Id. animalisé.....	98	36,69	
Id. des camps.....	65,9	32,2	

Recherches sur l'acide sébacique;

PAR M. J. REDTENBACHER.

Lorsqu'on épuise par l'eau bouillante le produit distillation de la plupart des corps gras, il se précipit le refroidissement de la liqueur des cristaux feuil blancs, et auxquels M. Thenard, qui les observa le mier, a donné le nom d'*acide sébacique*.

Pour purifier ce corps, M. Thenard verse dans la lution aqueuse de cet acide de l'acétate de plomb, e compose le précipité bien lavé par l'acide sulfhydriq

M. Berzelius, qui s'est occupé de l'examen de cet a

fait bouillir le produit de la distillation des graisses avec du carbonate de chaux délayé dans beaucoup d'eau, et sépare l'acide sébacique en décomposant le sébate de chaux par l'acide nitrique.

Plusieurs réactions firent croire à M. Berzelius que l'acide sébacique n'était autre chose que de l'acide benzoïque dont les propriétés se trouvaient modifiées par la présence de quelques produits empyreumatiques. Ce qui conduisit ce chimiste à cette conclusion, ce fut la manière dont le sébate de potasse se comporte avec l'alcool anhydre. En effet, ce sel épuisé par ce véhicule lui cédait un autre sel dont l'acide ne précipitait ni les sels de protoxyde de mercure, ni ceux d'argent; tandis que l'acide du sébate non épuisé par l'alcool et l'acide de la portion insoluble dans ce véhicule précipitaient ces dissolutions.

MM. Dumas et Péligot ont déterminé la composition de cet acide par l'analyse de son hydrate et de son sel d'argent, en employant à cet effet un échantillon que M. Lecanu avait préparé par la distillation des corps gras; leurs recherches les ont conduits à adopter pour l'hydrate la formule

$$C^{10}H^{16}O^{3} + H^{2}O,$$

l'eau y pouvant être remplacée par 1 équivalent d'une base métallique.

J'entrepris donc les recherches suivantes, dans le but de confirmer cette composition et de déterminer en vertu de quelle réaction cet acide se produit par la distillation des corps gras.

J'ai soumis à la distillation de l'huile d'olives et de la graisse de porc, et j'ai fait bouillir à plusieurs reprises le produit obtenu avec de l'eau. Celle-ci se prend par le refroidissement, en une bouillie composée d'aiguilles cristallines très-fines; les derniers extraits semblent toujours contenir une quantité assez notable d'acide sébacique : cependant le poids en est fort peu considérable.

L'acide ainsi obtenu fut jeté sur un filtre lavé à l'eau froide, puis repris par l'eau bouillante, afin de le séparer d'une petite quantité de matière grasse qui y adhère toujours. On réitéra ce traitement jusqu'à ce que le produit fût parfaitement blanc et dépourvu de toute odeur empyreumatique.

Je fis bouillir aussi le produit de la distillation des corps gras avec de l'eau à laquelle j'avais ajouté une certaine quantité d'ammoniaque, puis je décomposai le sel ammoniacal formé par un acide. Par ce procédé, je n'obtins l'acide sébacique ni en plus grande quantité, ni dans un plus grand état de pureté.

Ainsi préparé, cet acide se présente sous forme d'aiguilles ou de feuillets blancs, nacrés, forts légers et ressemblant beaucoup à l'acide benzoïque. Il possède une saveur acide et rougit légèrement le tournesol, ne perd rien de son poids à 100°, fond à 127°, et se sublime à une température plus élevée. Sa vapeur est irritante et présente l'odeur qui est particulière à la vapeur de tous les acides gras. Il possède, du reste, toutes les propriétés que lui assigne M. Berzelius dans son Traité de Chimie.

Soumis à l'analyse, il m'a donné des nombres qui s'accordent avec la formule

$$C^{10}H^{18}O^{4}.$$

Pour en déterminer le poids atomique, j'ai préparé le sel d'argent en précipitant une dissolution de sébate d'ammoniaque par une dissolution de nitrate d'argent. Il se forme alors un précipité blanc, cailleboteux, à peine soluble dans l'eau. La calcination de ce sel et sa combustion au moyen de l'oxyde de cuivre m'ont conduit à la formule

$$C^{10}H^{16}O^{3}, AgO.$$

D'où il suit que l'acide anhydre doit avoir la composition

suivante :

$$C^{10}H^{16}O^{3},$$

et que son hydrate doit être représenté par

$$C^{10}H^{16}O^{3} + H^{2}O.$$

Ce qui confirme entièrement la composition que MM. Dumas et Péligot ont assignée à cet acide.

L'acide sébacique forme avec les alcalis des sels très-solubles, avec les terres et les oxydes métalliques, des précipités fort peu solubles ou insolubles, et qui sont plus ou moins colorés, suivant la base qu'ils renferment. Je n'ai examiné que les sels de potasse et de chaux.

Le sébate de potasse s'obtient en neutralisant le carbonate de potasse par l'acide sébacique. Il cristallise d'une dissolution concentrée en petits cristaux mamelonnés très-solubles dans l'eau, non déliquescents et peu solubles dans l'alcool absolu. Ce sel présente la composition suivante :

$$C^{10}H^{16}O^{3}, KO.$$

Je n'ai pas réussi à préparer un sel de potasse acide.

Lorsqu'on traite le sel neutre par un excès d'acide sébacique, celui-ci se sépare sans avoir subi d'altération. Je n'ai pu parvenir non plus à extraire du sel neutre par l'alcool anhydre un autre sel dont l'acide ne précipitât ni les sels de mercure ni les sels d'argent.

Le sébate de soude ressemble au sel de potasse ; il est un peu plus soluble que lui.

Le sébate d'ammoniaque est très-soluble dans l'eau, cristallise confusément, perd de l'ammoniaque par la dessiccation, et présente une réaction acide.

Une dissolution un peu concentrée de chlorure de calcium donne avec le sébate d'ammoniaque un précipité de sébate de chaux assez peu soluble dans l'eau. Sa solution étendue cristallise par l'évaporation spontanée à l'air en paillettes blanches très-fines et brillantes.

Ce sel présente la composition suivante :

$$C^{10}H^{16}O^{3}, CaO.$$

Afin d'obtenir un nouveau moyen de contrôle pour la composition de cet acide, je préparai l'éther sébique, qui n'était pas connu jusqu'à présent. Ce composé s'obtient facilement en faisant passer un courant de gaz chlorhydrique jusqu'à saturation dans une dissolution alcoolique d'acide sébacique. On lave l'éther produit avec de l'eau mélangée d'un peu de carbonate de soude, et on le rectifie après l'avoir desséché sur du chlorure de calcium.

Soumis à l'analyse, ce composé m'a donné des nombres qui conduisent à la formule

$$C^{14}H^{26}O^{4},$$

qu'on peut décomposer en

$$C^{10}H^{16}O^{3}, C^{4}H^{10}O.$$

Après avoir ainsi confirmé la composition de l'acide sébacique et de quelques-uns de ses sels, je terminerai par quelques mots sur le mode de sa formation.

La plupart des corps gras d'origine animale ou végétale donnent de l'acide sébacique quand on les distille. Ainsi la graisse de bœuf, celle de porc, les huiles d'olives, de noix, etc., sont dans ce cas. Les acides stéarique et margarique, quand ils sont purs, ne donnent pas la moindre trace de cet acide; il en est de même de la glycérine. Outre ces trois principes, les graisses et les huiles ne contiennent que de l'acide oléique; d'où l'on conclut nécessairement que l'acide sébacique ne peut être que le produit de la distillation de l'acide oléique.

Lorsqu'on distille de l'acide oléique seul, le produit renferme, outre d'autres substances, une grande quantité d'acide sébacique, dont la quantité n'augmente pas lorsque l'acide oléique employé contient d'autres acides gras fixes.

La cire ne donne pas d'acide sébacique à la distillation, donc elle ne contient pas d'acide oléique. M. Thenard avait déjà indiqué la formation de l'acide sébacique par la distillation de la cire, comme un moyen de reconnaître si elle était falsifiée avec de la graisse. Le blanc de baleine est dans le même cas.

Comme l'acide sébacique est très-peu soluble dans l'eau froide, qu'il est facile à reconnaître, et par son aspect et par ses réactions avec les sels de plomb, de mercure et d'argent, qu'il précipite en blanc; qu'il suffit de distiller quelques grammes d'un corps gras, et que l'extraction par l'eau bouillante s'opère assez rapidement, on est conduit à admettre que l'acide sébacique est le réactif le plus commode pour reconnaître la présence de l'acide oléique dans une matière grasse. Ce fait présente surtout de l'importance dans la préparation de la margarine et de la stéarine, le seul moyen qu'on pût employer jusqu'à présent consistant dans la saponification de la matière grasse et la détermination du point de fusion de l'acide gras mis en liberté.

Le meilleur procédé qu'on puisse employer pour la préparation de cet acide consiste donc à soumettre à la distillation l'acide oléique brut, produit accessoire de la fabrication des bougies stéariques.

Recherches sur les produits qui résultent de l'action de l'acide nitrique sur l'huile de ricin;

PAR M. T.-G. TILLY.

L'action de l'acide nitrique sur les acides gras a fait récemment le sujet des recherches de MM. Laurent et Bromeis, et les résultats intéressants obtenus par eux ayant attiré l'attention des chimistes, le professeur Liebig m'engagea d'examiner dans son laboratoire les produits qui résultent de l'oxydation de l'huile de ricin, qui diffère à un degré si remarquable des autres huiles fixes.

Une partie de cette huile fut mêlée avec deux fois son poids d'acide nitrique et un égal volume d'eau, et la cornue qui contenait le mélange fut soumise à l'action d'une douce chaleur. Au bout de quelque temps l'action devient très-violente, et les gaz se forment en si grande abondance, que toute la matière contenue dans la cornue s'en échappe par le col.

On doit alors retirer celle-ci du feu, afin que l'action se continue peu à peu. Si l'on replace la cornue sur le feu, il faut avoir recours à l'emploi d'un bain de sable pour que l'action soit moins violente. Ce moyen d'oxydation doit être continué plusieurs jours, plus ou moins, selon le degré de concentration de l'acide employé. Lorsque les vapeurs nitreuses diminuent, il faut retirer la cornue du feu. On trouve alors dans le récipient de l'acide nitrique, de l'eau et une huile acide volatile particulière qui fera le sujet des pages qui vont suivre. En ajoutant de l'eau à la masse grasse qui reste dans la cornue, et qu'on soumette le mélange à la distillation, on obtient une nouvelle quantité de cette huile acide.

Il faut la séparer alors de l'acide au-dessus duquel elle nage, la mêler avec de l'eau et redistiller. Ce procédé doit être répété à plusieurs reprises, après quoi il faut la dessécher en répandant dessus de l'acide phosphorique fondu; le chlorure de calcium ne peut être employé ici, en raison de sa solubilité dans l'acide.

L'acide qu'on se procure par cette méthode est tout à fait incolore et transparent; il possède une odeur aromatique agréable et une saveur sucrée et piquante. Il est peu soluble dans l'eau, et communique à ce liquide son odeur particulière. Il est soluble dans l'acide nitrique, l'alcool et l'éther. Il commence à bouillir à la température de 148°, et une petite quantité passe à la distillation; mais s'il est maintenu pendant quelque temps à cette température, il noircit, se décompose et donne des produits empyreumatiques; d'où l'on voit qu'il ne peut être distillé seul. Il brûle avec une flamme claire et un peu fuligineuse, et ne se solidifie pas à un froid de — 17°. J'ai donné à ce composé le nom d'*acide œnanthylique* pour des raisons que je donnerai ailleurs.

Brûlé avec de l'oxyde de cuivre, ce composé m'a donné

des nombres qui conduisent à la formule

$$C^{14}H^{14}O^{4}\ (*).$$

Éther œnanthylique. — Cet éther s'obtient en dissolvant l'acide dans l'alcool absolu et en faisant passer un courant de gaz chlorhydrique à travers la solution. Il faut ajouter du carbonate de potasse au produit de la réaction, afin de neutraliser tout l'acide, et le distiller ensuite. L'éther passe alors dans le récipient, et l'on peut le débarrasser de l'alcool qu'il contient en l'agitant avec de l'eau. Il faut enfin le distiller sur du chlorure de calcium, dans un courant de gaz carbonique, en raison de la décomposition qu'il éprouve de la part de l'oxygène atmosphérique à la température de son point d'ébullition.

L'éther œnanthylique ainsi préparé est un liquide incolore, plus léger que l'eau, possédant une odeur agréable et particulière, différant peu de celle de la nitrobenzide. Il a une saveur douceâtre et un peu piquante qui laisse une sensation désagréable au palais. Il est soluble dans l'alcool et l'éther; il brûle avec une flamme bleu clair exempte de fumée. Il se solidifie sous l'influence du froid produit par un mélange de neige et de sel, et se présente alors sous forme cristalline.

Soumis à l'analyse, ce composé m'a donné des nombres qui s'accordent avec la formule

$$C^{18}H^{18}O^{4}.$$

Supposons maintenant que cet éther soit composé de 1 atome d'oxyde d'éthyle et de 1 atome d'acide anhydre, nous aurons pour la composition de celui-ci,

$$C^{14}H^{13}O^{3};$$

et en y ajoutant 1 atome d'eau pour former l'hydrate, nous aurons

$$C^{14}H^{13}O^{3} + HO.$$

L'œnanthylate de potasse s'obtient en neutralisant le carbonate de cette base par de l'acide œnanthylique; il ne cristallise pas; par l'évaporation il prend la forme d'une gelée épaisse et transparente.

(*) C = 75, H = 12,5.

Soumis à l'analyse, il m'a donné des nombres qui conduisent à la formule

$$C^8H^7O^4 \quad \text{ou} \quad C^8H^6O^3 + HO.$$

Les autres acides trouvés par M. Laurent ne paraissent pas avoir pris naissance dans cette réaction, mais je ne pourrais cependant affirmer le fait d'une manière positive. On peut cependant obtenir une petite quantité d'acide lipique par l'évaporation des eaux-mères de l'acide subérique.

De l'action de l'acide nitrique sur les acides stéarique et oléique, et des produits qui en résultent ;

Par M. C. BROMEIS.

Action de l'acide nitrique sur l'acide stéarique.

M. Chevreul, dans ses Recherches chimiques sur les corps gras, page 28, rapporte qu'à chaud l'acide nitrique attaque l'acide stéarique, et que la solution acide laisse déposer par l'évaporation une substance d'un blanc jaunâtre, soluble dans l'eau, fort acide, et souillée d'une matière huileuse. Lorsqu'on traite à chaud 1 partie d'acide stéarique par 2 ou 3 parties d'acide nitrique, il s'établit au bout de quelque temps une réaction très-vive, il se dégage beaucoup de bioxyde d'azote accompagné d'un autre gaz qui irrite fortement les organes respiratoires. L'action se calme bientôt, l'acide stéarique devient plus fluide, et se solidifie en une masse qui présente la consistance du suif, et qui fond, suivant la durée de l'opération, entre 35 à 40°.

Acide margarique. — Il est contenu dans l'acide stéarique altéré, mélangé avec une substance huileuse qui se saponifie facilement, en se colorant en rouge.

En épuisant le produit brut par l'eau bouillante, afin d'enlever l'acide nitrique, et le dissolvant ensuite dans l'alcool chaud, on sépare l'acide margarique, qui se précipite à l'état cristallin par le refroidissement de la liqueur. En lui faisant subir deux ou trois cristallisations dans l'alcool, exprimant et saponifiant le produit, puis décomposant le savon par un acide, on obtient une matière d'une

blancheur parfaite, fondant exactement à 60°, et présentant toutes les propriétés de l'acide margarique. C'est du reste ce que l'analyse a pleinement justifié. En effet, $0^{gr},4573$ de l'acide fondu ont donné :

Eau.....	$0^{gr},5123$
Acide carbonique.....	1 ,2475

Ce qui fournit en centièmes :

Carbone.....	75,43
Hydrogène.....	12,45
Oxygène.....	12,12
	100,00

Le calcul donne :

Carbone.....	75,64
Hydrogène.....	12,71
Oxygène.....	11,65
	100,00

La formation de l'acide margarique par l'oxydation de l'acide stéarique s'explique d'une manière très-simple, en admettant que ce dernier prend 2 atomes d'oxygène, dont l'un rentre dans la constitution de l'acide et dont l'autre se combine avec un équivalent d'hydrogène, pour former de l'eau qui est éliminée.

En effet on a :

$$\left.\begin{matrix} C^{68}+H^{138},O^{7} \\ -\ H^{2}+O^{2} \end{matrix}\right\} = 2\,(C^{34}H^{68}O^{4})+H^{2}O.$$

Ce qui correspond à la composition de 2 atomes d'acide margarique hydraté.

J'ai confirmé cette décomposition par l'expérience suivante :

En traitant une petite quantité d'acide stéarique parfaitement pur, pendant une demi-heure, par de l'acide nitrique concentré et bouillant à la température de l'ébullition, l'acide employé s'est entièrement transformé en acide margarique pur.

Si l'on traite l'acide stéarique plusieurs jours de suite par de l'acide nitrique bouillant, il finit par disparaître, et l'on obtient une solution acide, limpide, et qui renferme, outre l'acide subérique, une proportion assez forte d'acide succinique presque entièrement pur.

Acide subérique.—Lorsqu'on évapore à moitié la solution acide, elle se prend au bout de vingt-quatre heures en une masse presque solide. On la purifie de l'eau-mère par des lavages à l'eau froide, par plusieurs cristallisations dans l'eau chaude, par expression et dessiccation. Ainsi préparé, il est blanc et sans odeur, et présente toutes les propriétés chimiques de l'acide qu'on retire de l'acide. Séché à 100°, il n'entre en fusion qu'à 120°.

La calcination du sel d'argent donne :

Oxyde d'argent.....	57,20
Acide.....	42,80
	100,00

L'analyse du même sel donne en centièmes :

Carbone.....	26,05
Hydrogène.....	3,36
Oxygène.....	13,39
Oxyde d'argent.....	57,20
	100,00

D'où l'on tire la formule

$$C^8H^{12}O^3, AgO.$$

L'analyse de l'acide libre séché et fondu conduit à la formule

$$C^8H^{12}O^3 + H^2O.$$

D'où l'on voit que, dans les sels, un équivalent d'eau se trouve remplacé par un équivalent de base métallique.

Acide succinique.—En évaporant les eaux de lavage de l'acide subérique, j'ai obtenu une matière cristalline très-blanche qui me parut une substance particulière. Sa composition atomique s'accorde parfaitement avec celle de l'acide succinique.

Afin de me convaincre de l'identité de l'acide ainsi obtenu avec l'acide succinique naturel, je fis des réactions comparatives qui toutes confirmèrent pleinement ma supposition. C'est particulièrement dans les eaux de lavage de l'acide subérique, ainsi que dans les eaux-mères du produit de l'action de l'acide nitrique, que se trouve l'acide succinique. On l'en retire par une évaporation lente ; par le refroidissement il se dépose, accompagné d'une grande quantité d'acide subérique, sous la forme d'une croûte blanche et à gros grains qui adhère au fond du vase.

A l'aide de plusieurs cristallisations dans l'eau, et au moyen de l'éther bouillant qui dissout à peine d'acide succinique et beaucoup d'acide subérique, on peut le débarrasser de ce dernier. Cristallisé dans l'eau, cet acide se présente sous la forme de grains lourds, parfaitement blancs, qui, examinés à la loupe, offrent des tables réunies par groupes. Séché à 100°, il entre en fusion entre 170 et 175° (l'acide naturel fond à 178°); par le refroidissement, il se prend en une masse diaphane et rayonnée; à quelques degrés au-dessus de son point de fusion, il se sublime en aiguilles blanches douées d'un éclat soyeux. C'est par la sublimation qu'on peut obtenir l'acide succinique dans le plus grand état de pureté. En effet, cet acide se sublime le premier et se condense sur les parties supérieures du vase, à l'état de houppes déliées et transparentes. Par une nouvelle sublimation, on l'obtient d'une pureté plus parfaite que par tout autre procédé, et même le succin n'en donne pas de si beau. La dissolution de son sel ammoniacal n'occasionne pas de précipité dans la dissolution du chlorure de barium, de calcium et de sulfate de cuivre; il précipite en blanc les sels neutres à base de plomb, de zinc et d'argent.

Les analyses de l'acide libre et du sel d'argent conduisent aux formules

$$C^4H^4O^3 + H^2O,$$
$$C^4H^4O^3 + AgO.$$

Ces résultats démontrent, de la manière la plus évidente, l'identité de l'acide succinique artificiel avec l'acide qu'on rencontre dans la nature.

Lorsqu'on compare la composition de l'acide succinique avec celle de l'acide stéarique, d'où il a pris naissance, ou de l'acide succinique qui se produit en même temps que lui, il semble que l'acide succinique se forme par l'effet de l'oxydation énergique à laquelle l'acide subérique se trouve soumis sous l'influence de l'acide nitrique.

En effet on a

$$\left.\begin{matrix} C^8H^{12}O^8 \\ -H^4+O^4 \end{matrix}\right\} = C^8H^8O^6 + H^4O^2 = 2\,(C^4H^4O^3, H^2O).$$

On pourrait le faire dériver pareillement de l'acide stéarique ou de l'acide margarique, qui est le premier produit de la réaction :

2 atomes d'acide margarique..... $C^{68}H^{132}O^{6}$
7 atomes d'acide subérique ..... $C^{56}H^{84}O^{21}$
3 atomes d'acide succinique..... $C^{12}H^{12}O^{9}$
$C^{68}H^{36}O^{30}$
$-H^{36}+O^{24}$

L'acide nitrique fournirait donc 42 atomes d'oxygène dont 24 seraient employés à opérer la transformation de l'acide margarique en acides subérique et succinique, tandis que les 18 autres formeraient de l'eau avec 36 atomes d'hydrogène. Voilà donc l'acide succinique qu'on peut compter au nombre des matières que le chimiste prépare artificiellement.

Il est probable que le succin lui-même est un produit de la combustion lente ou de la pourriture de quelque huile ou corps gras végétal. Peut-être l'acide mellitique, qui se rapproche tant de l'acide succinique par sa composition, et le mellite, doivent-ils leur formation à une action analogue. Ce qui parlerait en faveur de ce fait, c'est qu'on rencontre ce dernier dans quelques mines de charbon.

Action de l'acide nitrique sur l'acide oléique.

L'action que l'acide nitrique exerce sur l'acide oléique a beaucoup de rapport avec celle que le même agent opère sur l'acide stéarique, seulement elle est plus vive et plus énergique.

Je me suis assuré que la concentration de l'acide ne modifie en rien les résultats, seulement l'action est plus ou moins lente à s'accomplir.

L'acide oléique ne s'est ni épaissi ni résinifié, ainsi que M. Laurent l'a quelquefois observé. Il devient de plus en plus fluide et incolore, en diminuant peu à peu de volume, et enfin il finit par disparaître entièrement si l'on a soin de renouveler convenablement les additions d'acide nitrique.

L'acide nitrique qui distille dans cette opération possède une odeur particulière qui irrite vivement les organes respiratoires, et qui ne disparaît pas lorsqu'on neutralise l'acide par de l'ammoniaque ou du carbonate de soude. En distillant le liquide neutralisé par du carbonate de soude, on obtient une huile légère, limpide et très-fluide, dont la quantité était cependant trop faible pour pouvoir être examinée.

Acide margarique. — Si, dès la première réaction de l'acide nitrique, on arrête l'opération, l'acide oléique se fige, et donne, au bout de douze à dix-huit heures, une masse jaunâtre semi solide, traversée çà et là par quelques écailles cristallines. Épuisée par l'eau bouillante, cristallisée à plusieurs reprises dans l'alcool, saponifiée et décomposée ensuite par un acide, cette matière donne un acide blanc cristallin, cassant et fusible exactement à 60°. J'ai soumis cette substance à l'analyse; elle possédait exactement la composition de l'acide margarique.

La formation de l'acide margarique, dans cette réaction, me paraît encore douteuse, car la quantité du produit obtenu était fort petite, et l'acide oléique employé n'était pas entièrement exempt d'acide stéarique.

Dans une expérience faite avec de l'acide oléique parfaitement pur, je n'obtins ni acide margarique ni acide élaïdique, mais un acide blanc solide fusible à 80°, et se solidifiant à 70°. Avec la potasse, cet acide donne un savon rouge, et lorsqu'on décompose celui-ci par un acide, il ne se sépare qu'une petite quantité d'une huile épaisse et brune qui ne se solidifie plus à la température ordinaire.

En opérant de la même manière, M. Laurent prétend avoir obtenu de l'acide élaïdique; cependant il n'indique ni la composition de l'acide ainsi préparé, ni le point de fusion. L'indication de ces données eût été d'autant plus importante, que, d'après M. Laurent, la composition de l'acide élaïdique ne diffère que de 1 atome de carbone, c'est-à-dire de 0,5 pour cent, de la composition de l'acide margarique, telle que M. Varrentrapp l'a établie.

Acide subérique. — La solution nitrique de l'acide oléique contient, outre plusieurs acides trouvés par M. Laurent, particulièrement de l'acide subérique que l'on isole de la manière suivante.

Le produit de la réaction de l'acide nitrique sur l'acide oléique, alors que toute action a cessé, se prend au bout de douze heures, et à la température de 0°, en une masse cristalline qui se compose presque exclusivement d'acide subérique et d'une huile soluble dans l'alcool, ainsi que d'une faible quantité d'acide pimélique.

Pour en retirer l'acide subérique, on verse le tout sur un grand entonnoir dont on bouche légèrement l'ouverture à l'aide d'une baguette en verre. L'eau-mère s'écoule et peut être entièrement enlevée par des lavages à l'eau froide.

Après l'avoir fait cristalliser à plusieurs reprises dans l'eau bouillante, l'avoir exprimé et séché, on obtient l'acide subérique à l'état de parfaite blancheur.

Cet acide ainsi purifié fond à 120°, et se prend par le refroidissement en une masse composée d'aiguilles très-fines.

Chauffé dans un ballon, il produit des vapeurs qui se condensent en gouttelettes qui deviennent cristallines par le refroidissement; il laisse en même temps un résidu charbonneux.

Le sel ammoniacal ne précipite les solutions de chlorure de barium, de strontium et de calcium, que par l'addition d'alcool; il occasionne immédiatement des précipités blancs dans les solutions des sels neutres d'argent, de mercure, de zinc et d'étain. Le subérate d'ammoniaque précipite également en vert bleuâtre le sulfate de cuivre, et en rouge-brun le sulfate de peroxyde de fer.

J'ai soumis à l'analyse l'acide subérique libre, ainsi que les subérates de soude, de plomb et d'argent; leur composition peut se représenter à l'aide des formules suivantes :

Acide subérique hydraté.....	$C^8H^{12}O^3$, H^2O
Subérate de soude.....	$C^8H^{13}O^3$, NaO
Subérate de plomb neutre.....	$C^8H^{12}O^3$, PbO
Subérate de plomb basique.....	$C^8H^{12}O^3$, $3PbO$
Subérate d'argent.....	$C^8H^{12}O^3$, AgO
Subérate d'oxyde d'éthyle.....	$C^8H^{12}O^3$, $C^4H^{10}O$.

J'ai préparé le subérate d'oxyde d'éthyle en faisant passer un courant de gaz chlorhydrique dans une solution d'acide subérique dans l'alcool. L'éther se sépare pendant l'opération. On l'obtient parfaitement pur en l'agitant avec de l'eau et l'abandonnant ensuite sur du chlorure de calcium. Il distille facilement sans s'altérer, et possède l'odeur de reinette qui est particulière aux éthers des acides gras.

Acide pimélique. — Cet acide se trouve particulièrement dans les eaux de lavage de l'acide subérique, et en moindre quantité dans l'eau-mère nitrique d'où on l'extrait en évaporant doucement. Cristallisé à plusieurs reprises dans l'eau, il se présente sous forme de grains blancs, agglomérés en partie, et différant essentiellement de l'acide subérique. Séché à 100°, il entre en fusion à 134 et se sublime aisément en aigrettes soyeuses très-belles. Il est un peu plus soluble dans l'eau que l'acide subérique. Son sel

ammoniacal ne précipite ni les solutions de chlorure de barium, de strontium et de calcium, ni celle de sulfate de cuivre.

J'ai soumis à l'analyse l'acide libre, ainsi que le sel d'argent. Leur composition peut être exprimée par les formules suivantes :

Acide pimélique hydraté..... $C^7H^{10}O^3$, H^2O
Pimélate d'argent..... $C^7H^{10}O^3$, AgO.

Ces résultats s'accordent parfaitement avec ceux de M. Laurent; je ferai seulement observer que son acide fondait à 114°, et que son sel ammoniacal précipitait la solution de sulfate de cuivre.

Acide adipique. — Cet acide s'obtient par l'évaporation des eaux-mères nitriques. Cristallisé dans l'eau, cet acide se présente sous la forme de grains réunis par groupes. Séché à 100°, il entre en fusion à 145° et se sublime aisément comme l'acide pimélique. Il est très-soluble dans l'eau, l'alcool, l'éther et l'acide nitrique. La solution de son sel ammoniacal ne précipite pas la dissolution de chlorure de barium, de calcium, de sulfate de cuivre et d'acétate de plomb; elle précipite au contraire en blanc la solution de nitrate d'argent.

Soumis à l'analyse, ce composé m'a fourni des nombres qui conduisent à la formule

$$C^{14}H^{22}O^9.$$

Les analyses des sels de baryte et d'argent m'ont conduit à considérer ce composé comme un acide bibasique. On a alors

Acide libre..... $C^{14}H^{18}O^7 + 2H^2O$,
Adipate de baryte... $C^{14}H^{18}O^7 + 2BaO$,
Adipate d'argent.... $C^{14}H^{18}O^7 + 2AgO$.

La composition de cet acide, telle que je viens de l'établir, s'écarte considérablement de celle que M. Laurent a admise; cette différence tient sans doute à ce que ce chimiste n'a examiné que l'acide libre et son sel de baryte, et qu'il n'a pas même brûlé ce dernier avec de l'oxyde de cuivre. Mon analyse de l'acide libre s'accordant entièrement avec les résultats de M. Laurent, je me crois d'autant plus fondé à regarder la nouvelle formule comme exacte.

Acide lipique. — Il se trouve dans l'eau-mère brune et épaisse qu'on obtient en décantant et exprimant l'acide

pimélique. Par l'évaporation de ce liquide, il se dépose au bout de quelque temps sous forme de lamelles transparentes assez volumineuses.

L'acide que j'avais obtenu seulement en quantité très-faible s'est décomposé par l'évaporation de la solution nitrique, ce qui m'a empêché d'en examiner la composition.

Acide azoléique. — Lorsqu'on traite l'acide oléique, l'acide margarique ou l'acide stéarique, on obtient entre autres produits un acide particulier, dont M. Laurent avait indiqué la formation, et auquel il avait donné le nom d'*acide azoléique*.

Les produits que j'ai obtenus, soit au moyen de l'acide oléique pur ou brut, soit au moyen de l'acide stéarique, ayant été soumis à l'analyse, m'ont donné des résultats qui conduisent à la formule

$$C^{14}H^{28}O^{4}.$$

J'ai éthérifié cet acide en employant la méthode que j'ai décrite pour la préparation de l'éther subérique. La composition de cet éther peut se représenter par

$$C^{18}H^{36}O^{4} = C^{14}H^{26}O^{3}, C^{4}H^{10}O.$$

M. Laurent croyait avoir obtenu, dans ses recherches, de l'acide œnanthique; cependant je me suis assuré, par un grand nombre d'expériences, que le corps qu'il a pris pour de l'éther œnanthique n'est qu'un mélange d'éther azoléique et d'éther sulfurique qui possède, il est vrai, l'odeur de l'éther œnanthique.

Si l'on compare la composition des acides oléique et stéarique avec celle des corps qui se produisent par l'oxydation de ces acides sous l'influence de l'acide nitrique, on remarque que la production de ces derniers se fait en vertu d'une oxydation directe analogue aux phénomènes de pourriture ou de combustion lente.

En effet, on a, en partant de l'acide oléique,

2 atomes d'acide oléique.	$C^{36}H^{166}O^{6}$
3 atomes d'acide subérique	$C^{24}H^{38}O^{9}$
3 atomes d'acide pimélique	$C^{21}H^{60}O^{9}$
3 atomes d'acide lipique	$C^{15}H^{18}O^{12}$
1 atome d'acide adipique.....	$C^{12}H^{14}O^{7}$
1 atome d'acide azoléique.....	$C^{14}H^{26}O^{4}$
	$C^{15}H^{128}O^{40}$
	$-H^{28}+O^{32}$

ou bien, en partant de l'acide stéarique,

1 atome d'acide stéarique.....	$C^{36}H^{132}$	O^{4}
1 atome d'acide subérique.....	$C^{8}H^{12}$	O^{8}
2 atomes d'acide succinique.....	$C^{8}H^{4}$	O^{8}
2 atomes d'acide pimélique.....	$C^{14}H^{24}$	O^{8}
2 atomes d'acide adipique.....	$C^{12}H^{20}$	O^{14}
2 atomes d'acide lipique.....	$C^{16}H^{28}$	O^{8}
	$C^{84}H^{80}$	O^{50}
	$-H^{44}+O^{38}$	

Dans le cas de l'acide oléique, on voit que 46 atomes d'oxygène sont absorbés, 14 s'unissent à 28 d'hydrogène pour former de l'eau, tandis que les 32 autres demeurent en combinaison avec les produits d'oxydation.

Dans le cas de l'acide stéarique, 21 atomes d'oxygène forment de l'eau avec 44 atomes d'hydrogène, tandis que 32 entrent en combinaison dans les produits d'oxydation.

Cette manière de représenter l'oxydation des corps gras ne saurait être rigoureuse, attendu que l'on ne peut pas déterminer la quantité des produits obtenus.

Action de l'acide nitrique sur l'acide oléique siccatif de l'huile de lin.

La réaction qui se manifeste dans ce cas est plus violente qu'avec l'acide oléique des huiles onctueuses. La masse s'épaissit et devient visqueuse comme du vieux vernis à l'huile; bientôt après il devient fluide, et, au bout de vingt-quatre heures, il se frit en une masse semi solide. En épuisant celle-ci par l'eau bouillante, et en la dissolvant deux fois dans l'alcool à chaud, j'obtins une petite quantité d'un acide blanc ressemblant entièrement à l'acide margarique. Après avoir été saponifié et reprécipité, il entrait en fusion à 56°.

La solution nitrique contenait une quantité assez considérable d'acide subérique qui, après deux cristallisations dans l'eau, présentait toutes les propriétés de cet acide, et qui, séché à 100°, fondait exactement à 119°. L'eau-mère ne fournit point, comme pour les autres acides gras, d'acides pimélique, adipique, etc.; mais une grande quantité d'acide oxalique pur, ce qui distingue essentiellement l'acide oléique siccatif des autres acides gras.

OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES. — SEPTEMBRE 1841.

JOURS.	9 HEURES DU MATIN.			MIDI.			3 HEURES DU SOIR.			9 HEURES DU SOIR.			THERMOMÈT.		ÉTAT DU CIEL	VENTS
	Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	Maxim.	Minim.	A MIDI.	à MIDI.
1	756,91	+17,4		756,93	+20,2		756,19	+21,9		756,38	+17,0		+23,7	+10,2	Quelques nuages.....	O. N. O.
2	754,43	+19,6		753,72	+24,4		752,57	+24,7		752,66	+21,1		+25,3	+12,3	Couvert.....	N. O.
3	750,79	+21,8		749,03	+25,7		747,10	+27,3		746,80	+19,6		+28,8	+15,8	Nuageux.....	E.
4	752,39	+15,8		753,01	+17,8		753,39	+16,5		755,28	+12,4		+18,6	+13,2	Très-nuageux.....	O.
5	755,98	+14,0		754,72	+16,8		753,73	+16,5		753,56	+10,5		+17,6	+ 8,2	Quelques nuages.....	O.
6	750,00	+15,2		748,96	+16,6		748,21	+18,0		749,24	+15,8		+18,7	+10,0	Pluie.....	S.
7	753,91	+15,8		753,58	+19,4		752,90	+19,8		751,10	+17,0		+20,7	+12,8	Très-nuageux.....	S. S. O.
8	754,79	+18,4		756,13	+20,0		756,70	+21,4		758,98	+14,9		+22,6	+13,8	Couvert.....	S. O
9	760,46	+16,7		759,69	+23,2		759,16	+24,5		759,20	+19,2		+25,4	+11,5	Très-nuageux.....	S.
10	759,08	+22,0		759,11	+27,2		758,49	+29,5		759,90	+22,5		+31,0	+15,2	Beau.....	S. E.
11	759,29	+22,8		758,61	+28,0		757,80	+29,9		757,64	+22,9		+31,4	+16,1	Serein.....	S. E.
12	755,36	+22,0		754,47	+25,2		753,45	+26,8		753,84	+22,0		+28,1	+18,0	Beau.....	E. S. E.
13	754,45	+21,7		753,60	+26,2		753,01	+28,8		753,42	+22,8		+29,8	+17,2	Beau.....	E. S. E.
14	753,03	+21,5		752,86	+25,8		752,31	+29,1		753,73	+23,7		+30,1	+16,8	Très-vaporeux.....	E. S. E.
15	754,88	+22,6		754,63	+23,8		754,39	+23,0		755,39	+19,1		+25,2	+19,2	Couvert.....	N. N. O.
16	755,66	+18,1		755,17	+22,3		754,48	+22,0		755,74	+14,5		+24,4	+14,3	Nuageux.....	O. S. O.
17	756,69	+14,3		756,11	+17,2		755,34	+18,8		755,42	+15,0		+19,8	+10,0	Très-nuageux.....	O. N. O.
18	754,26	+16,2		754,14	+19,1		754,25	+20,1		755,34	+16,7		+21,2	+12,7	Beau.....	N.
19	757,09	+14,8		756,81	+19,2		756,60	+20,9		758,17	+16,3		+21,7	+11,5	Beau.....	N.
20	759,71	+19,2		758,94	+22,6		758,11	+23,7		757,58	+18,0		+24,6	+11,6	Très-nuageux.....	N.
21	754,62	+15,5		753,16	+19,0		751,66	+21,6		749,22	+16,2		+22,2	+13,0	Très-vaporeux.....	E.
22	751,64	+17,5		751,22	+21,0		750,72	+21,5		751,74	+14,4		+22,9	+15,1	Très-nuageux.....	S. S. O.
23	750,72	+14,8		750,02	+18,0		749,32	+19,8		749,24	+15,0		+20,7	+10,2	Très-nuageux.....	S. S. O.
24	748,92	+15,3		749,18	+18,6		748,79	+19,8		748,74	+15,7		+20,2	+13,0	Couvert.....	S. S. O.
25	748,52	+15,9		748,52	+17,8		748,28	+18,5		748,60	+13,3		+19,4	+12,4	Couvert.....	S. S. O.
26	752,82	+15,3		752,26	+18,3		746,89	+18,3		748,58	+13,0		+19,2	+11,1	Très-nuageux.....	S. S. O.
27	750,16	+15,7		750,71	+18,2		750,31	+18,7		750,92	+14,6		+19,7	+12,0	Couvert.....	S. S. O.
28	748,57	+15,7		747,45	+22,1		745,78	+23,8		743,09	+19,0		+24,0	+14,0	Nuageux.....	S. S. O.
29	745,53	+18,6		746,43	+20,8		747,06	+19,7		748,42	+14,6		+21,2	+15,8	Couvert.....	S. O.
30	744,08	+19,8		744,75	+19,0		743,99	+19,1		756,27	+17,0		+23,0	+13,9	Pluie.....	S. S. O. viol.
1	754,87	+17,7		754,48	+21,1		753,83	+22,0		754,31	+16,0		+23,2	+12,9	... Moy. du 1er au 10	Pluie en cent.

RECHERCHES CRISTALLOGRAPHIQUES,

PAR M. DE LA PROVOSTAYE.

Acides tartrique et paratartrique, tartrates et paratartrates.

Le monde matériel et les lois qui le régissent étant l'objet propre des sciences naturelles, chacun de leurs progrès fait envisager les êtres et leurs propriétés sous de nouvelles faces, nous découvre de nouvelles forces et de nouveaux rapports; mais si l'horizon s'agrandit, ses bornes sont toujours obscures, et l'on doit, chaque jour, redoubler d'efforts pour éclairer les points ténébreux de la science. Les recherches physico-chimiques semblent plus particulièrement destinées à atteindre ce but, en ce qu'elles mettent en jeu les forces moléculaires ou ce qu'il y a de plus intime dans les propriétés des corps. Il est une étude qui s'y rattache de la manière la plus étroite, et qui, sans aucun doute, mérite de la part des physiciens l'attention la plus sérieuse. Cette étude, c'est celle de la forme des substances cristallisées.

Tout porte à penser, dans l'état actuel de la science, que les propriétés physiques et chimiques des corps sont déterminées beaucoup moins par leur nature propre que par la disposition relative des molécules, leur mode de groupement et d'agrégation. Or on conçoit qu'il est un autre effet dérivant de la même source d'une manière bien plus directe encore, c'est la forme extérieure de la substance lorsqu'on peut l'obtenir pure et cristallisée.

Il est dès-lors évident que celui qui pourrait embrasser

tous les rapports lirait dans la forme d'un corps un grand nombre de ses propriétés, et réciproquement que sa nature, sa constitution et ses propriétés bien connues devraient conduire à prévoir et à déterminer sa forme.

De nombreuses tentatives ont été faites dans cette direction ; elles ont été couronnées d'un succès partiel qui peut en faire espérer d'autres pour l'avenir. M. Mitscherlich, dans ses remarquables travaux, s'est spécialement occupé des substances inorganiques cristallisées. L'étude des substances organiques laisse encore, je crois, beaucoup à désirer. L'examen comparatif de ces matières, sous le point de vue de la forme et de la composition, fait l'objet d'un travail étendu que j'ai commencé et que je me propose de poursuivre. Ici, plus que partout ailleurs, il faut, pour arriver à des conséquences probables, accumuler un grand nombre d'observations bien faites. Cela même est loin de suffire ; la question de sa nature est tellement complexe, qu'on ne peut espérer d'en trouver la solution qu'autant qu'on sera guidé par des vues théoriques parfaitement justes sur la constitution des corps. On est encore loin de pouvoir aborder cette question d'une manière satisfaisante. Je me regarderai comme heureux si, par la série de recherches que j'ai l'intention de publier, je puis, sinon la résoudre, au moins donner des éléments pour sa solution.

Les chimistes trouveront, dans des mesures faites avec soin, un caractère utile, une sorte de définition des substances qu'ils étudient ; leurs théories pourront y trouver un point d'appui et des moyens de contrôle. Enfin peut-être l'analogie des formes fera-t-elle naître dans leurs esprits des rapprochements nouveaux, des points de vue inaperçus jusqu'à ce jour.

Dans le travail qui va suivre, je me suis uniquement occupé de l'acide tartrique, de l'acide paratartrique et des combinaisons que ces acides forment avec les bases.

La composition de ces deux acides ne diffère que par 1 équi-

valent d'eau. Le plus souvent les tartrates et les paratartrates ont exactement la même composition; néanmoins, comme on le verra, la forme extérieure diffère. Sans doute il n'y a rien là qui doive nous surprendre. Seulement on peut en conclure, surtout si de nouveaux exemples viennent ultérieurement confirmer nos présomptions, que la forme cristalline ne dépend pas seulement du nombre des atomes, mais aussi et surtout peut-être de leur mode de groupement et du rôle qu'ils jouent dans les combinaisons.

Acide tartrique.

L'acide tartrique a déjà été examiné par M. Péclet (*Annales de Chimie et de Physique*, tome XXXI); mais il n'avait à sa disposition qu'un goniomètre d'application, et n'a pu dès-lors donner les angles avec une grande exactitude. On remarquera toutefois que l'habileté de l'observateur a suppléé aux imperfections de l'instrument; les valeurs qu'il a indiquées ne s'écartent que bien peu des valeurs véritables. Néanmoins comme il s'est uniquement occupé de la forme des cristaux de l'acide tartrique du commerce, et qu'elle résulte d'une altération de la forme régulière, j'ai pensé que de nouveaux détails à ce sujet ne seraient pas inutiles.

La forme de l'acide tartrique appartient au système monoklinoédrique. (Prismat. rectang. oblique. Voy. *fig.* 1, *Pl. I.*) Il présente un prisme vertical à quatre pans M, terminé par deux faces basiques inclinées *b*. Toutes ses arêtes latérales sont remplacées; celles qui correspondent à la diagonale horizontale de la base par un prisme *n* à quatre pans parallèles à la diagonale oblique; et celles qui correspondent à la diagonale oblique par deux hémiprismes *r* et *w*, parallèles à la diagonale horizontale, et par une paire de faces verticales *h* qui appartient à la même zone et tronque symétriquement le prisme vertical M. On trouve aussi, mais plus rarement, et seulement sur des

cristaux obtenus par une évaporation lente, les faces de l'hémipyramide négative *p*, et de petites facettes *i* qui tronquent l'arête entre la base et le prisme *n*.

Tel est l'aspect de l'acide tartrique lorsque toutes les faces sont également développées; mais presque toujours les deux faces M qui se trouvent d'un même côté de la diagonale oblique s'élargissent beaucoup, et font presque disparaître les faces *n* qu'elles comprennent; les deux autres, au contraire, sont d'ordinaire extrêmement petites, et se trouvent presque effacées par le développement des faces *n* intermédiaires. Il résulte de ces changements que la forme décrite ne se laisse pas reconnaître immédiatement. Pour aider dans cette orientation, j'ai représenté *fig.* 2 un fragment détaché d'une grappe d'acide tartrique du commerce, et j'ai mis sur chaque face la même lettre que plus haut. Souvent une ou plusieurs des faces *r*, *h*, *w*, et la petite face M disparaissent. Dans tous les cas, et s'il restait quelque doute, on pourrait avoir recours à un signe qui permettra toujours de reconnaître la base *b*. Bien qu'on admette généralement que l'acide tartrique n'a pas de clivage, il en a réellement un parfaitement net et facile, parallèlement à la face *b*. De plus, lorsque, par accident ou autrement, la surface unie et brillante des faces *n* a été enlevée, on aperçoit une texture fibreuse très-prononcée. Les fibres sont dirigées parallèlement aux arêtes d'intersection de M, *w* et *n*, et forment un bec en se rencontrant sur l'arête d'intersection des deux faces *n*. Toutefois cette texture ne s'aperçoit bien que sur l'acide tartrique du commerce en gros cristaux. L'acide tartrique pur, qui cristallise lentement, est ordinairement en lames homogènes et transparentes, et n'offre pas cette particularité.

Dans la *fig.* 3, on l'a dessiné tel qu'il se présente alors cristallisé en plaques minces.

Les détails qui précèdent ne peuvent laisser aucune ambiguité, et l'on pourra toujours, à leur aide, reconnaître

immédiatement les diverses faces du cristal, quelle que soit la forme qu'il affecte.

Voici maintenant la notation des faces et les angles mesurés.

$$M = \infty P,$$
$$b = oP,$$
$$h = \infty P\infty,$$
$$r = + P\infty,$$
$$w = - P\infty,$$
$$n = (P\infty),$$
$$i = (\tfrac{1}{2} P\infty),$$
$$p = - P.$$

	Angles mesurés.	Calculés.
$r : b =$	122°30′,	
$w : b =$	135. 0,	
$n : b =$	128.34,	
$M : b =$	97.10,	97°13′,
$M : r =$	121. 4,	121. 5,
$M : w =$	125.15,	125.20,
$M : n =$	129.20,	129.20,
$M : n' =$	118.30′ à 35′,	118.31,
$n : i =$	160 à 161°,	
$M : p =$	151 ½ à 152° ½.	

Par de simples soustractions, on trouve

$$r : w = 102°30',$$
$$n : n = 102°52'.$$

De ces angles on déduit

Angle des axes.

$$\gamma = 79°43'.$$

Axes.

$$a : b : c = 1{,}2417 : 1 : 0{,}9741.$$

Acide paratartrique.

La forme de l'acide paratartrique appartient au système triklinoédrique (prism. oblique à base de parallél. obli-

quangle, *fig.* 4). Les plans qui la terminent réfléchissent parfaitement la lumière, et le système des zones est bien développé. Il arrive souvent qu'une partie des faces manque; aussi, pour les trouver toutes, il a fallu choisir sept ou huit individus sur plus de trois ou quatre cents qui ont été détachés et examinés les uns après les autres. La considération des zones suffit pour déterminer complétement la notation des faces et leur disposition relative.

En effet, un examen attentif a montré que la zone horizontale comprend les faces M, N, T, R.

Une deuxième zone comprend N, y, b, x;
Une troisième zone comprend R, s, b, p;
Une quatrième zone comprend T, P, b;
Une cinquième zone, R, P, y;
Une sixième zone, N, P, s;
Une septième zone, T, s, x;
Une huitième zone, M, p, x;
Une neuvième zone, M, y, s;
Et enfin une dixième zone, T, y, p.

Si, tenant compte de ces relations, on fait la projection des faces suivant la méthode connue, on est nécessairement conduit, pour chaque face, à la notation suivante :

$$b = \mathrm{oP}, \qquad \mathrm{R} = {}^{\infty}\breve{\mathrm{P}}\infty,$$
$$\mathrm{P} = \mathrm{P}', \qquad y = \breve{\mathrm{P}}\infty,$$
$$\mathrm{T} = \infty\mathrm{P}', \qquad x = \bar{\mathrm{P}}\infty,$$
$$\mathrm{M} = \infty\mathrm{P}, \qquad s = \breve{\mathrm{P}}\infty,$$
$$\mathrm{N} = \infty\bar{\mathrm{P}}\infty, \qquad p = \breve{\mathrm{P}}\infty.$$

La forme est donc une combinaison d'un quart d'octaèdre P, de six hémiprismes M, T, s, p, x, y, d'une base b et des deux paires de faces N et R.

Parmi les hémiprismes, M et T sont verticaux, s et p sont inclinés et parallèles à la plus courte des diagonales de la base.

Toute la partie du cristal qui se trouve à droite dans la figure est le plus souvent altérée, de telle sorte que les faces P, *s*, *b* ne se trouvent bien visibles que sur un petit nombre d'échantillons. Sur le grand nombre de cristaux examinés, la face *b* n'a été trouvée que trois fois, P quatre ou cinq fois, *s* beaucoup plus souvent.

Quand ces trois faces manquent en même temps, les faces *x* et *y* sont terminées vers la droite à la rencontre de la face R.

	Angles mesurés.		Calculés.
p : R à gauche	=	128°33′,	
p : *b*	=	153.54,	
y : N	=	123.32,	
(*) *y* : *b*	=	145.46,	
M : R à gauche	=	110.45,	
M : N	=	129.51,	
N : T	=	152.54,	
T : R à droite	=	146.30,	
y : *x*	=	111.57,	
b : *s*	=	147.56,	
P : *y*	=	156. 7,	156° 8′,
N : P	=	133. 5,	133. 5,
y : T	=	113.32,	113.34,
p : M	=	107.28,	107.32,
y : R à gauche	=	84.26,	84.29,
y : M	=	120.32,	120.32,
R : N	=		119.24,
y : *p*	=		128.13,
b : *x*	=		146.11.

Il serait inutile de donner un plus grand nombre

(*) La face *b* étant toujours extrêmement petite, il a été difficile d'obtenir cet angle avec précision. La mesure donnait un angle compris entre 145 45′ et 146°. J'ai choisi la valeur qui s'accordait le mieux avec les autres angles mesurés plus exactement.

d'angles. Chacun pourrait, à l'aide des données qui vont suivre, trouver sans trop de peine celui dont il aurait besoin.

D'après la symétrie de ses faces et les mesures précédentes, l'acide paratartrique doit être placé dans le dernier système. Il faut donc rapporter la position de ses faces à trois plans coordonnés obliques. Le cristal étant placé comme la *fig.* 4 le représente, je suppose que l'axe des x est vertical, l'axe des z dirigé vers l'observateur, et l'axe des y vers la droite (voyez *fig.* 5). Soient A, B, C, les angles des plans coordonnés; l'angle A est égal à l'angle de N et de R, c'est-à-dire à 119°24′. On trouve d'une manière semblable les valeurs de B et de C. De ces valeurs on déduit les angles plans formés par les axes qu'on désigne ici par α, $\mathfrak{C}$, γ.

Outre ces valeurs, il faut encore trouver le rapport de grandeur des axes qui seront désignés par a, b, c. On prendra arbitrairement la longueur b de l'axe des y, égale à l'unité; les autres se trouvent alors sans peine par les méthodes connues. Il suffit, comme on sait, des valeurs de A, B, C, et des rapports $\frac{a}{b}$, $\frac{c}{b}$, pour déterminer complétement la forme. Voici le tableau des quantités que nous venons d'indiquer :

$$\begin{aligned} A &= 119°24', \quad \alpha = 120°, \\ B &= 89.18, \quad \mathfrak{C} = 96.19'; \\ C &= 77.33, \quad \gamma = 76.\ 5'. \end{aligned}$$

$$a : b : c = 0{,}48434 : 1 : 0{,}80602.$$

Tartrate neutre d'ammoniaque.

Le tartrate neutre d'ammoniaque cristallise dans le système monoklinoédrique (prism. rect. oblique, *fig.* 6).

Sa forme présente les deux hémipyramides z et n, la

base oblique l, le prisme incliné q parallèle à la diagonale oblique de la base, et enfin la paire de faces orthodiagonales M et l'hémiprisme T, qui sont parallèles à la diagonale horizontale de la base.

Les faces q s'élargissent constamment à l'une des extrémités, et y font disparaître les faces des deux hémipyramides z et n.

Les cristaux sont ordinairement allongés dans le sens de l'arête d'intersection de M et de T, c'est-à-dire dans le sens de l'axe c, qu'on suppose ici dirigé de la gauche à la droite de l'observateur.

Dans quelques cas plus rares, ils ont à peu près le même diamètre dans tous les sens.

Les faces sont fort belles et réfléchissent bien les images; mais au contact de l'air elles s'altèrent au bout de quelques jours.

Angles mesurés.

M	: l	=	88° 9′,
M	: $l_{,}$	=	91.51,
l	: T	=	127.40,
M	: T	=	140.29,
q	: q	=	110.10,
q	: l	=	124.55,
z	: n	=	124.24,
z	: q	=	144.11,
n	: q	=	144.54,
z	: $n_{,}$	=	109. 5,
z	: l	=	116.50,
n	: $l_{,}$	=	118.45,
q	: M	=	88.56,
q'	: M	=	91. 4,
z	: T	=	137.39,
z	: M	=	145.14,
n	: M	=	143.50,
q	: T	=	110.28.

Notation des faces.

$z = P$,
$n = -P$,
$l = oP$,
$M = \infty P\infty$,
$T = P\infty$,
$q = (P\infty)$.

Angle des axes.

$\gamma = 88°9'$.

Longueur des axes.

$a : b : c = 1{,}244 : 1 : 0{,}8684$.

Paratartrate neutre d'ammoniaque.

Le paratartrate d'ammoniaque cristallise dans le système rhombique (prism. rect. droit, *fig.* 7).

	Angles mesurés.	Calculés.
$u : v$	$= 169°$	
$u : u$	$= 118.$	
M : M par derrière	$= 99.30'$,	
h : M	$= 160.50$,	
P : u	$=$	$156°27'$,
P : v	$=$	$154.\ 7$,
T : M	$=$	130.15,
T : h	$=$	149.25.

Presque toujours u et v sont fendus et un peu convexes, probablement parce que deux cristaux s'accollent latéralement. La suture est à peu près parallèle à l'intersection de P : u.

Notation des faces.

$P = P$, | $M = \infty P$,
$u = \bar{P}\infty$, | $h = \infty \breve{P}2$,
$v = \frac{1}{3}\bar{P}\infty$, | $T = \infty \breve{P}\infty$.

Axes.

$a : b : c = 0{,}5087 : 1 : 0{,}8466$.

Tartrovinate de potasse.

qu'on laisse une dissolution de tartrovinate de potasse
rer avec lenteur, elle donne de beaux et grands cris-
rfaitement transparents, qui appartiennent au sys-
ıombique (prism. rect. droit, *fig.* 8).
ɔrme nous offre la combinaison d'un octaèdre *o*,
ɜ faces sont toujours très-petites et souvent peu vi-
d'un prisme horizontal *n* qui tronque ses arêtes
d'une paire de faces verticales *h*, parallèles à la plus
diagonale de la base de l'octaèdre, et enfin d'un
vertical M = ∞P2.
:ive fréquemment, surtout lorsque les cristaux sont
que deux des quatre faces *n* et deux des quatre
[disparaissent, ou du moins ne sont plus percep-
Dans ce cas, on croirait avoir affaire à un prisme
, *fig.* 9 et 10.
ɛst pas rare de voir les cristaux se grouper. Quel-
deux individus se réunissent par leurs faces *h*, de
ɛ à former un seul cristal dont la forme et les angles
rent pas de ceux des deux premiers, *fig.* 11. On
ve même cinq ou six groupés de la même manière,
ors ils sont très-comprimés, et les faces *n* et *n*,
, ne sont pas réunies avec autant de perfection que
cas précédent, où les faces M des deux cristaux
: une seule et même face sans aucune trace de suture.
rouve un clivage facile parallèlement à la face *h*.
faces de clivage ont un éclat remarquable. Les la-
ɔnt peu de flexibilité et sont assez tendres; cepen-
peut les obtenir extrêmement minces.

Angles mesurés.

n : M = 101° 5′,
h : *n* = 112.39,
u : *n* = 134.41,

Angles mesurés.

$M : M_{,} = 120° 8'$,
$M : M = 59.52$,
$M : h = 119.56$.

Mesures grossières.	Angles calculés.
$o : o_{,} = 154°$,	$153°20'$,
$o : M = 144$ à $144° \frac{1}{2}$,	$144. 0.$

On arrive facilement avec les valeurs précédentes à notation des faces et à la longueur des axes.

Notation des faces.

$o = P$,
$n = \breve{P}\infty$,
$h = \infty\breve{P}\infty$,
$M = \infty\breve{P}2$.

Axes.

$a : b : c = 0{,}4174 : 1 : 0{,}2879$.

Si l'on adoptait pour la notation des faces

$o = \frac{1}{3} P \frac{1}{3}$,
$n = \frac{1}{3} \breve{P}\infty$,
$h = \infty\breve{P}\infty$,
$M = \infty\breve{P}\frac{2}{3}$,

on aurait pour le rapport des axes,

$a : b : c = 1{,}25 : 1 : 0{,}864$.

Paratartrovinate de potasse.

Je dois cette substance à l'obligeance de M. Gué Lorsqu'elle m'a été confiée elle était fort altérée; je n tache donc aucune importance aux mesures suivantes, sont loin d'être bonnes. Je les cite néanmoins parce qu'

me semblent rendre fort probable que le paratartrovinate de potasse n'est pas isomorphe au tartrovinate.

Remarquons que, d'après M. Guérin, le premier contient 2 équivalents d'eau, tandis que le dernier n'en contient que 1.

$$B : o = 126^{\circ} \text{ environ},$$
$$o : i = 151 \text{ environ},$$
$$i : B_{,} = 83 \text{ environ}.$$

C'est à peine si le degré est exact. Il semblerait pourtant que le paratartrovinate de potasse cristallise dans le système monoklinoédrique.

Bitartrate d'ammoniaque.

Le bitartrate d'ammoniaque forme des cristaux assez petits, mais dont les sommets sont fort nets. Le grand nombre des pans rend tout à fait impossible la mesure exacte des angles qu'ils comprennent. La forme n'en est pas moins complétement déterminée, car lorsqu'on connaît exactement les angles du sommet, et approximativement ceux des pans, le calcul donne leur valeur rigoureuse.

La forme appartient au système rhombique (prism. rectang. droit, *fig.* 13). Elle offre la combinaison d'un octaèdre n, de trois prismes verticaux M, b, a, d'un prisme horizontal q, et des deux paires de faces h et T.

La projection horizontale, exécutée suivant la méthode ordinaire, montre qu'une seule et même zone contient les trois faces

b à gauche et en avant,
q en avant,
n à droite et en arrière.

La mesure des angles a donné

Angles mesurés.

$$q : q = 110^{\circ}32',$$
$$q : n = 141.12' (9' \text{ à } 16'),$$

	Angles mesurés.	Calculés.
n : n en arrière	= 127°12′ (10′ à 14′),	
M : M par derrière	=	109°16′,
h : n	=	116.24,
h : M	=	125.22.

J'ai cherché ensuite à déterminer l'angle des pans à 1 degré près. Des couleurs irisées ne permettaient pas d'espérer une exactitude plus grande.

	Mesures grossières.	Angles calculés.
h : a	= 154° $\frac{1}{2}$,	154° 9′,
a : b	= 170,	170.41,
b : M	= 160 $\frac{1}{2}$,	160.32,
M : T	= 145,	144.38.

Notation des faces.

$n = \mathrm{P}$,
$q = \breve{\mathrm{P}}_{\infty}$,
$\mathrm{M} = \infty\mathrm{P}$,
$h = \infty\breve{\mathrm{P}}\infty$,
$\mathrm{T} = \infty\bar{\mathrm{P}}\infty$,
$a = \infty\breve{\mathrm{P}}3$,
$b = \infty\breve{\mathrm{P}}2$.

Axes.

$a : b : c = 0{,}6932 : 1 : 0{,}7099$.

Bitartrate de potasse.

Il est isomorphe au bitartrate d'ammoniaque. J'ai trouvé les angles suivants cités comme ayant été donnés par Brooke :

q : q		= 109°,
h : M		= 126.15′,
M : M par derrière		= 107.30,
h : n		= 117. 2.

Tartrate neutre de potasse.

Le tartrate neutre de potasse cristallise difficilement. On ne l'obtient qu'en prismes courts dont les faces sont en général fort peu brillantes. La mesure est donc difficile, et je n'ai pu l'avoir avec exactitude qu'en multipliant les essais sur un très-grand nombre de cristaux.

La forme est si régulière qu'on croirait, au premier coup d'œil, qu'elle appartient au système rhombique (prismat. rectangul., *fig.* 14). Il n'en est rien. La mesure des angles prouve qu'il faut réellement la ranger dans le système monoklinoédrique. On trouve en effet,

	Angles mesurés.	Calculés.
$i : f =$	89°30′,	
$i : l =$	142.13,	
$f : l =$	127.17,	
$u : u =$	134.50,	
$u : m =$	112.35,	
$f : u =$	103.35,	103°38′,
$l : u =$	95.35,	95.38,
$i : u =$		107.46,
$i : m =$		127.55.

L'angle de $u : u$ a été quelquefois trouvé notablement plus grand et égal à 135° et jusqu'à 135°30′; mais cela tenait à une concavité ou convexité qui d'ordinaire était évidente. Le plus souvent l'angle s'écartait peu de 134°50′, valeur adoptée et qui s'accorde bien avec les autres angles mesurés. En calculant l'angle et la grandeur des axes d'après les données précédentes, on trouve

$$\gamma = 75°12',$$
$$a : b : c = 1{,}0085 : 1 : 0{,}40212.$$

La forme est une combinaison du prisme vertical u, de

la base inclinée l, de la paire de faces m parallèles à la diagonale horizontale de la base, et des deux hémiprismes horizontaux i et f qui appartiennent à la même zone.

La notation des faces est donc

$$l = \text{oP},$$
$$u = \infty\text{P},$$
$$f = + \text{P}\infty,$$
$$i = - \text{P}\infty,$$
$$m = \infty\text{P}\infty.$$

Tartrate neutre d'ammoniaque et de potasse.

Le tartrate neutre d'ammoniaque et de potasse, *fig.* 14, est isomorphe avec le tartrate neutre de potasse. Les angles ne diffèrent que par un petit nombre de minutes. Comme ce sel s'altère à l'air avec une très-grande rapidité, il est beaucoup plus difficile que pour le précédent d'avoir les angles avec précision. Je n'essaierai donc pas d'assigner les différences entre les angles; elles sont trop petites pour être séparées des erreurs d'observation.

Tartrate neutre de soude.

Le tartrate neutre de soude forme des cristaux très-petits dont la forme appartient incontestablement au système rhombique (prism. rect. droit, *fig.* 15).

Il offre un prisme droit vertical M, dont le sommet est terminé par deux faces formant biseau n, et dont les angles latéraux sont tronqués, les uns par les faces h, les autres par les faces T. Les premières sont parallèles à la plus courte, les autres à la plus longue diagonale de la base.

	Angles mesurés.	Calculés.
h : M	= 127°35′,	
M : M	= 104.50,	
n : $n_{,}$	= 132.44,	
M : T	= 142.25,	
M : n	= 108.30′ à 35′,	108°31′.

Notation des faces.

$$M = \infty P,$$
$$h = \infty \breve{P} \infty,$$
$$T = \infty \bar{P} \infty,$$
$$n = \bar{P} \infty,$$

Valeurs des axes.

$$a : b : c = 0{,}3366 : 1 : 0{,}7696.$$

Tartrovinate de baryte.

Les cristaux de tartrovinate de baryte qui m'ont été remis par M. Guérin étaient préparés depuis longtemps et très-fortement altérés. Il en résulte que les mesures sont ici plus que grossières, et que c'est à peine si je puis répondre du degré.

$$M : N = 105 \text{ à } 106^\circ,$$
$$M : t = 126 \text{ à } 127^\circ.$$

Tartrate d'antimoine et d'ammoniaque. — Tartrate d'antimoine et de potasse.

Le tartrate double d'antimoine et d'ammoniaque forme des cristaux d'assez grandes dimensions, dont les faces sont parfaitement brillantes. Au premier coup d'œil on les prendrait pour des tétraèdres; mais un examen attentif prouve qu'on a affaire à une forme beaucoup plus composée.

C'est un rhomboctaèdre, *fig.* 17, terminé aux sommets par des faces basiques. Le premier rhomboctaèdre aigu forme des biseaux sur les arêtes latérales de cette forme primitive, et dans quelques cas ses propres arêtes latérales sont tronquées par un prisme vertical.

Ces cristaux n'offrent donc en réalité que des formes hémoédriques. Il est fort intéressant de pouvoir suivre sur cette substance le passage de l'homoédrie à l'hémiédrie.

Pour faire comprendre ma pensée, je suis obligé d'entrer dans quelques détails.

On sait qu'on a réuni en un certain nombre de groupes les formes cristallines qui sont susceptibles de se combiner entre elles. Dans chacun de ces groupes ou systèmes, on a établi une connexion intime entre les formes en les déduisant géométriquement les unes des autres. Cette déduction s'exécute ordinairement en changeant suivant des lois déterminées, la longueur d'un ou de plusieurs des axes de la forme fondamentale; mais, dans quelques cas, les formes dérivées sont *hémiédriques*, c'est-à-dire qu'on ne peut les déduire d'une des formes homoédriques qu'en supposant que les faces alternatives de celles-ci disparaissent, et que les autres faces prolongées se coupent.

Cette conception semble n'avoir qu'une valeur purement théorique. La forme de l'émétique d'ammoniaque paraît indiquer que la transformation peut réellement s'effectuer dans la nature.

On le trouve, en effet, non-seulement sous la forme représentée *fig.* 17, mais de plus, lorsqu'on le fait cristalliser dans des circonstances un peu différentes, on l'obtient sous des formes identiques au fond, différentes en apparence.

Les angles sont toujours les mêmes; quant aux faces, lorsque celles qui sont comprises dans un des angles trièdres formés par les plans coordonnés sont très-développées, les faces opposées et parallèles sont à peine sensibles; dans quelques cas même elles ont tout à fait disparu, et la substance semble se présenter sous la forme d'un tétraèdre.

	Angles mesurés.	Calculés.
P : b	= 121°39′,	
P : 2P	= 165.27,	165°28′,
P : P′	= 101. 8,	
P′ : P,	= 110.57,	
b : h	= 90.0,	

Angles mesurés.		Calculés.
P : P″	=	116°42′,
h : *h*′	=	83.29,
P : 2P′	=	93.34,
2P″ : P	=	75.42,
2P′ : P,	=	104.18,
2P′ : 2P″	=	145.46,
2P : *b*	=	107. 7.

Axes.

$a : b : c = 1{,}0801 : 1 : 0{,}8923.$

Tartrate d'antimoine et de potasse.

Je me suis assuré qu'il est complétement isomorphe au tartrate d'antimoine et d'ammoniaque.

Paratartrate d'antimoine et de potasse.

Le paratartrate d'antimoine et de potasse s'obtient cristallisé par le refroidissement d'une dissolution saturée. En général, les cristaux sont petits; souvent ils se joignent de manière à faire masse compacte. Ce n'est donc pas sans peine qu'on parvient à se procurer quelques échantillons mesurables, et encore leurs facettes sont loin d'être sans défauts. Malgré ces difficultés, leur examen prouve d'une manière certaine que ce sel appartient au système rhombique, *fig.* 18.

C'est un prisme droit à quatre pans, terminé par une pyramide à base rhombe.

Les angles suivants ne sauraient s'écarter beaucoup de la vérité. L'erreur probable me paraît être de 6 à 7′, l'erreur possible de 10 à 12′.

Angles observés.		Calculés.
M : M	= 85°20′,	
M : *o*	= 118. 2,	117°50′,
o : *o*	= 140.0,	
o : *o* par derrière	= 142.55′,	143. 6.

Axes.

$a : b : c = 0{,}3579 : 1 : 0{,}9217.$

Notation des faces.

$M = \infty P,$

$o = P.$

e o est fort surbaissé, il est possible qu'il soit
èdres dérivés de l'octèdre fondamental. Si l'on
comme un octaèdre obtus $\frac{1}{2}$ P, on aurait

Axes.

$a : b : c = 1{,}074 : 1 : 0{,}9217.$

Tartrate d'antimoine et de soude.

La forme de l'émétique de soude diffère de celle de l'émétique d'ammoniaque, et par conséquent de celle de l'émétique ordinaire. Ses cristaux, *fig.* 19, sont beaucoup moins beaux et moins réfléchissants; aussi la mesure des angles n'aura que peu de précision. Telle qu'elle est néanmoins, elle suffit pour déterminer la forme.

Angles mesurés.

$M : M = 85°20'$

$M : T = 137.20,$

$T : c = 136.40' \text{ à } 137°40',$ } environ.

$T : a = 117.$ }

Axes.

$a : b : c = 1{,}08 : 1 : 0{,}9217.$

Notation des faces.

$M = \infty P,$ | $b = oP,$

$h = \infty \breve{P}\infty,$ | $n = P\infty,$

$T = \infty \bar{P}\infty,$ | $r = \frac{1}{2} \bar{P}\infty.$

Remarques générales.

J'aurais désiré multiplier davantage le nombre des mesures pour les paratartrates. Je tâcherai de le faire plus tard. Des trois formes examinées, aucune n'est identique avec celle des tartrates correspondants, mais on ne doit établir la comparaison qu'entre le tartrate et le paratartrate d'ammoniaque, le tartrate et le paratartrate d'antimoine et de potasse, puisque le tartrovinate et le paratartrovinate de potasse ne contiennent pas la même quantité d'eau.

D'après les analyses de M. Dumas, le tartrate d'ammoniaque ne contient pas d'eau de cristallisation, et je me suis assuré que le paratartrate est dans le même cas en le chauffant à 150°.

J'ai jugé superflu de répéter l'analyse du paratartrate d'antimoine et de potasse, qui a été examiné par M. Berzelius (*Annales de Chimie et de Physique*, tome XLVI).

Ainsi donc, première conclusion : les tartrates et les paratartrates de même composition ne sont pas isomorphes.

Après ces remarques sur l'hétéromorphisme de substances qui ont exactement la même composition, on me permettra de faire quelques rapprochements qui ont besoin de confirmations ultérieurcs, et que j'indique ici uniquement pour appeler l'attention sur ces différents points.

1°. En comparant le tartrate de potasse,

$$C^{16}H^{8}O^{10}, KO, H^{2}O,$$

et le tartrovinate de potasse,

$$C^{16}H^{8}O^{10}KO, C^{8}H^{10}O,$$

on est conduit à présumer que l'eau n'est pas isomorphe avec l'éther.

2°. La forme différente de l'acide tartrique,

$$C^{16}H^{8}O^{10}, H^{2}O, H^{2}O,$$

et du bitartrate de potasse,

$$C^{16}H^{8}O^{10}, KO, H^{2}O,$$

rend de même probable que l'eau n'est pas isomorphe avec la potasse. On sait d'ailleurs que sous le point de vue chimique l'eau se rapproche de l'oxyde de cuivre, mais nullement de la potasse.

Enfin, ce que les considérations chimiques ne disent pas d'une manière précise, l'éther ne paraît pas être isomorphe à l'ammoniaque (oxyde d'ammonium).

Tartrate neutre d'ammoniaque,

$$C^{16}H^{8}O^{10}, AmO, AmO;$$

Tartrovinate de potasse,

$$C^{16}H^{8}O^{10}, KO, C^{8}H^{10}O.$$

Je le répète, tout ceci a besoin de confirmations.

Je termine par une remarque d'un autre genre. Il s'agit d'une particularité que je ne puis guère, maintenant du moins, attribuer qu'au hasard.

1°. L'émétique de potasse ou d'ammoniaque; 2° l'émétique de soude; 3° le paratartrate d'antimoine et de potasse, ont des formes entièrement différentes; mais elles appartiennent au même système, et de plus, en choisissant convenablement, peut-être un peu arbitrairement, la notation des faces, on peut les rapporter à des axes qui, dans les deux derniers cas, sont entièrement identiques et diffèrent fort peu dans le premier cas. On pourrait faire des observations analogues pour quelques autres tartrates, mais j'ai hâte d'abandonner ce terrain, qui prête beaucoup trop aux illusions.

Nota. Tous les *tartrates* examinés plus haut m'ont été confiés par M. Dumas, qui a mis les produits de son laboratoire à ma disposition avec une générosité que je ne saurais trop reconnaître.

Recherches chimiques sur les résines;

PAR M. H. DEVILLE.

PREMIER MÉMOIRE.

Depuis quelques années les chimistes se sont occupés avec beaucoup d'attention des huiles essentielles que l'on peut retirer des végétaux. Ces études ont amené à des résultats d'un grand intérêt, et l'un des principaux a été de permettre de rassembler en différents groupes quelques-unes de ces substances si diverses, en se fondant sur les analogies de composition et de propriété chimique. Ainsi l'on a pu s'apercevoir qu'il existe parmi les essences un grand nombre d'entre elles composées des mêmes éléments, et que, la plupart du temps, cette isomérie amène une ressemblance parfaite entre les réactions auxquelles ces corps donnent lieu.

Or, l'on voit facilement au premier abord qu'il y a une parenté nécessaire et même assez étroite entre les résines et les essences. Celles-ci, dans beaucoup de cas, se trouvant dans la nature en mélange avec les résines, on a dû supposer que les agents atmosphériques avaient pu à la longue faire subir une modification profonde à des substances liquides souvent riches en hydrogène et en carbone, pour les solidifier d'une manière quelquefois complète par une oxydation ou une hydratation.

Quoique jusqu'ici cette action, la plupart du temps très-complexe, n'ait pu être étudiée d'une manière satisfaisante, on peut, je crois, admettre que tous les éléments qui constituent une résine ont existé, à un état différent, dans une essence primitive, quoique celle-ci puisse manquer

complétement dans certaines espèces (le benjoin, par exemple), ce qui exige seulement qu'on admette dans ces essences des degrés différents d'altérabilité. Quant à la cause résinifiante elle-même, elle est, je crois, bien loin d'être simple, si on veut la déterminer en général. Probablement, dans presque tous les cas, les forces végétatives interviennent-elles d'une manière active pour opérer cette transformation à l'aide de l'air et de l'eau; et ce qui semblerait le prouver, c'est que la plupart des résines que l'on obtient en soumettant à l'action de l'air et pendant longtemps une essence, même très-altérable, diffèrent notablement de celles qu'aidées du même agent, les forces de la vie végétale emploient fort peu de temps à produire.

Il suit donc de là que les analogies observées entre les essences doivent se conserver entre les résines, à quelques exceptions près; et une étude attentive de leurs réactions comparées est du nombre de celles qui peuvent jeter du jour sur la nature et l'origine de ces excrétions végétales.

C'est ce qui m'a engagé à entreprendre le travail dont je vais développer les différentes parties, en commençant par le baume de Tolu. Déjà j'ai pu m'assurer, par les résultats obtenus sur d'autres résines, qu'il pouvait y avoir des rapprochements à faire et des analogies à signaler. Je les réserverai pour la dernière partie de ce travail, quand j'aurai porté successivement tous mes soins à l'étude de quelques-unes de ces substances.

BAUME DE TOLU.

Les substances résineuses se trouvent la plupart du temps à des états très-divers dans le commerce. Aussi est-il convenable, quand on entreprend de les soumettre à quelques réactions, de ne pas se contenter d'opérer sur une seule variété, où au moins d'indiquer celle à laquelle on s'est adressé. Pour le baume de Tolu en particulier, ces états ne varient pas d'une manière bien sensible, à la solidité et

à la transparence près, qui, presque toujours, dépendent seulement de la température ambiante, et surtout de la proportion d'eau interposée. Pourtant, quand on a vu beaucoup de ces baumes, on se convainc facilement qu'il y en a de plus ou moins complétement résinifiés. Je dirai seulement que toutes les variétés m'ont présenté exactement les mêmes propriétés, et m'ont paru, l'eau exceptée, contenir les mêmes éléments dans les mêmes proportions.

ESSENCE DE TOLU.

Le baume ne contient qu'une petite quantité d'essence, que l'eau lui enlève avec la plus grande difficulté. Pour se procurer le plus possible de cette matière, il faut distiller dans un alambic beaucoup de ce baume (4 parties environ), avec très-peu d'eau (3 parties), puis ne remettre dans la cucurbite que l'eau qui a déjà déposé son essence en traversant le récipient florentin. Cette précaution est utile, parce que l'eau dissout plus de cette essence que de toute autre et en entraîne beaucoup, la densité des deux liquides différant fort peu. 4 kilogrammes de baume de Tolu très-visqueux ne m'ont donné que 8 grammes d'essence brute.

L'essence de Tolu ainsi préparée est une substance complexe; son analyse ne lui assigne aucune composition simple.

481 milligrammes de matière ont donné :

{ 480 milligrammes d'eau
{ 1524 d'acide carbonique.

Ce qui fait en centièmes :

C.....	86,4
H.....	11,0
O.....	2,6
	100,0

...e la cinnaméine, que M. Frémy (1) a découverte dans les baumes du Pérou et de Tolu. J'ai recueilli les produits passés à la distillation à peu près entre ... et ...°, et je les ai analysés.

I. Produit passé vers 345° (première opération) : 587 de matière ont donné

403 d'eau
1721 d'... ...onique.

II. Produit passé vers 350° (d'une seconde opération) : ... de matière ont donné

563 d'eau
2103 d'acide carbonique.

Ce qui fait en centièmes :

	I.	II.
C.....	79,96	81,12
H.....	7,62	8,83
O.....	12,42	10,05
	100,00	100,00

M. Frémy a obtenu à peu près les mêmes nombres pour les produits résultant de la distillation de la cinnaméine. Je regrette que la trop faible quantité de cette matière coûteuse, que j'aie pu me procurer, m'ait empêché de pousser plus loin cette comparaison.

En résumé, l'essence de Tolu contient trois substances distinctes : le tolène, l'acide benzoïque et la cinnaméine. Je ne crois pourtant pas que dans l'essence de Tolu on ne puisse trouver qu'elles. Ce qui me confirme dans l'opinion contraire, c'est que dans la rectification du tolène, après l'action de la potasse, quand on a recueilli à part (ce qui est toujours nécessaire si l'on veut obtenir le premier pro-

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, tome LXX, page 184.

duit pur) les dernières portions passées seulement vers 180°, on leur trouve une composition bien différente de celle du tolène. L'analyse suivante en donnera une idée.

242,2 de matière ont donné :

{ 258 d'eau
{ 754 d'acide carbonique.

Ce qui fait en centièmes :

C..... 84,90
H..... 11,83
O..... 3,27

Cette composition me ferait supposer, dans l'essence de Tolu, l'existence d'un hydrate de tolène analogue à l'hydrate de cédrène, que M. Walter a trouvé dans l'essence de cèdre.

Je ferai enfin remarquer que l'acide benzoïque de l'essence de Tolu pourrait bien avoir été entraîné mécaniquement par la vapeur d'eau dans la préparation. On peut aussi y admettre une substance analogue à l'hydrure de benzoïle, ou isomérique avec elle, dont l'altération par l'absorption de l'air peut avoir donné naissance à de l'acide benzoïque. C'est ce que je crois.

L'essence de Tolu brute exposée à l'air laisse déposer de l'acide benzoïque d'abord, puis se résinifie, en se solidifiant presque complétement.

ACIDES PRÉEXISTANT DANS LE BAUME DE TOLU.

Le baume de Tolu contient deux acides libres : l'acide benzoïque et l'acide cinnamique. Il est difficile de déterminer avec quelque précision la proportion relative pour laquelle chacune de ces substances entre dans le baume, parce que leurs propriétés chimiques sont tellement semblables, qu'elles permettent bien difficilement d'opérer une séparation entre elles. De plus, les formules atomiques de

ne sont pas si éloignées qu'elles apportent, dans
rtions des éléments qui les constituent, des écarts
bles; et surtout ces écarts ne sont pas tels qu'en
ant un mélange d'acides cinnamique et benzoïque,
on puisse conclure avec certitude de la composition en centièmes de ce mélange, les quantités qu'il renferme de chacun des acides. Il en est de même des combinaisons salines. Ainsi il n'y a que 40 millièmes de charbon de plus dans l'acide cinnamique que dans l'acide benzoïque, et comme dans les analyses on répond seulement de 2 à 3 millièmes de cet élément, on voit que ce moyen de dosage est encore assez grossier.

Il y a bien des procédés à suivre pour extraire ces acides du baume de Tolu. J'en ai essayé plusieurs qui m'ont donné quelques résultats que je vais discuter.

1°. J'ai traité le baume de Tolu très-visqueux, et par conséquent peu résinifié, par du carbonate de soude, et j'ai prolongé l'action, sous l'influence d'une température de 80 à 90° (au bain-marie). Le baume ne s'est pas dissous entièrement, il s'en faut; seulement il a acquis une couleur rouge-brique, et s'est solidifié complétement.

Dans la liqueur colorée en jaune verdâtre sale j'ai versé un excès de chlorure de calcium, qui a précipité la résine à l'état de résinate de chaux et du carbonate de cette terre; cette liqueur est devenue alors incolore, et en la sursaturant avec de l'acide chlorhydrique, j'ai séparé l'acide en flocons blancs, que j'ai recueillis immédiatement et lavés sur un filtre.

I. L'acide ainsi obtenu dans une première opération, très-légèrement coloré par de la résine, m'a donné à l'analyse, pour 275 de matière :

137 d'eau
696 d'acide carbonique.

II. L'acide d'une seconde opération, parfaitement pur,

m'a donné pour 345,

164 d'eau
866 d'acide carbonique.

Ce qui fait en centièmes :

	I.	II.	Acide benzoïque.	
C.....	69,0	68,76	C^{28}.....	68,87
H.....	5,5	5,25	H^{12}.....	4,92
O.....	25,5	25,99	O^{4}	26,21
	100,0	100,00		100,00

2°. Le résidu du traitement du baume par le carbonate de soude a été dissous dans de la potasse caustique très-étendue, et en aussi petite quantité que possible. La liqueur a été saturée par l'acide carbonique en très-grand excès, précipitée par le chlorure de calcium, et, après la séparation de la résine sursaturée d'acide chlorhydrique. L'acide organique recueilli sur un filtre et lavé m'a donné à l'analyse les résultats suivants.

282 de matière ont donné :

140 d'eau
714 d'acide carbonique.

		Acide benzoïque.	
C.....	69,05	C^{28}.....	68,87
H.....	5,51	H^{12}.....	4,92
O.....	25,44	O^{4}	26,21
	100,00		100,00

3°. Le même baume de Tolu a été entièrement dissous dans une lessive faible de potasse qui, après la sursaturation par l'acide carbonique et la précipitation de la résine, a donné par l'acide chlorhydrique un abondant dépôt d'une substance cristallisée qui n'est encore que de l'acide benzoïque.

tière ont donné :

141 d'eau
724 d'acide carbonique.

		Acide benzoïque.	
C.....	68,8	C^{28}.....	68,87
H.....	5,4	H^{12}.....	4,92
O.....	25,8	O^{4}.....	26,21
	100,0		100,00

d on laisse longtemps de l'eau chaude et du
u en contact, l'eau se charge d'un acide qui
par le refroidissement. Du baume de Tolu *bien*
, traité de cette façon, a donné un acide que j'ai purifié
r différentes cristallisations dans l'*eau*.

Il m'a donné à l'analyse :
Pour 402 de matière,

215 d'eau
1060 d'acide carbonique,

ou

		Acide benzoïque.		Acide cinnamique.	
C....	71,86	C^{28}....	68,87	C^{36}....	72,9
H....	5,71	H^{12}....	4,92	H^{16}....	5,4
O....	22,43	O^{4}....	26,21	O^{4}....	21,7
	100,00		100,00		100,0

La substance analysée contient donc une faible proportion d'acide cinnamique.

5°. Enfin M. Frémy, en traitant le baume de Tolu par une dissolution alcoolique de potasse, a obtenu de l'acide cinnamique seulement.

Pour concilier tous ces résultats, il suffit de remarquer :

1°. Que le cinnamate de soude est moins soluble dans l'eau, et a moins de tendance à se former que le benzoate de soude ; il en est de même pour les sels de potasse ;

2°. Que l'acide cinnamique est bien moins soluble à froid, dans l'eau, que l'acide benzoïque; par conséquent, en laissant refroidir une dissolution faite à chaud de ces deux acides mélangés, il se précipite plus du premier que du second, ce qui est un moyen de concentrer de plus en plus l'acide cinnamique dans les dépôts successifs obtenus par de pareilles purifications fréquemment répétées;

3°. Que le baume de Tolu, qui m'a donné de l'acide cinnamique, était presque solide;

4°. Enfin, que le benzoate de potasse est presque insoluble dans l'alcool et très-soluble dans l'eau, tandis que le cinnamate de potasse se dissout bien dans le premier véhicule, et moins bien que le benzoate dans le second.

Si maintenant on admet que l'oxydation du baume de Tolu et sa résinification sont des causes qui font augmenter, dans la substance, la proportion d'acide cinnamique, on concevra parfaitement bien que, dans un baume presque liquide, j'ai dû n'en trouver que peu. Cette petite quantité n'a pu être rendue sensible dans le traitement par le carbonate de soude, qui, comme on le conclut facilement de ce que je viens de dire, doit tendre à donner un minimum d'acide cinnamique.

Il n'en est plus de même pour le baume sec traité par l'eau. D'abord ce baume contient plus d'acide cinnamique, puis la purification par l'eau doit donner un maximum de cet acide.

Enfin M. Frémy, en traitant le baume de Tolu par la potasse alcoolique, n'a dû dissoudre dans celle-ci qu'une petite quantité de benzoate mêlée à une forte proportion de cinnamate de potasse. Le peu d'acide benzoïque ainsi entraîné a dû rester dans l'eau, lors des divers traitements qu'on a fait subir aux acides pour les purifier de toute matière étrangère, et les dernières traces, s'il en a existé dans l'acide cinnamique de M. Frémy, n'ont pas dû changer d'une manière appréciable les résultats de ses analyses, et

les faire différer sensiblement des nombres qui conviennent à l'acide cinnamique.

Enfin, si après avoir entièrement dissous dans de la potasse faible du baume de Tolu, saturé par l'acide carbonique, précipité la résine au moyen du chlorure de calcium, et ensuite les acides du baume au moyen de l'acide chlorhydrique, on fait cristalliser une solution alcoolique chaude et concentrée de ceux-ci, l'on voit d'abord se déposer une grande quantité d'acide benzoïque en aiguilles groupées, puis plus tard de l'acide cinnamique en tables prismatiques assez considérables. On peut séparer ces deux acides, en changeant à propos de cristallisoir; puis, après avoir trié les cristaux de chaque espèce, en les faisant cristalliser chacun à part, on obtient l'acide benzoïque et l'acide cinnamique isolés. En répétant cette opération un nombre de fois suffisant, on les obtient parfaitement purs. C'est encore le meilleur moyen d'opérer cette séparation.

J'ai fait une analyse d'un acide benzoïque ainsi obtenu. 400 de matière m'ont donné :

196 d'eau
1045 d'acide,

ou

C.....	69,0
H.....	5,4
O.....	25,6
	100,0

L'acide cinnamique séparé ainsi m'a donné, pour 550 de matière,

277 d'eau,
1467 d'acide carbonique,

ou

C....	72,8
H....	5,6
O....	22,4
	100,0

De plus, pour l'acide cinnamique, ses formes cristallines très-déterminables ne permettent de le confondre avec aucun autre.

En résumé, les acides qui préexistent dans le baume de Tolu sont les acides benzoïque et cinnamique. Le premier prédomine surtout dans les baumes peu altérés par la résinification. Plus tard, lorsque j'étudierai les produits de la distillation sèche du baume (celui que j'ai employé était ordinairement assez liquide), l'on verra que ces conclusions se vérifient par la nature et la quantité relative de ces deux acides, qui se produisent dans cette opération.

Résine du baume de Tolu.

Cette substance a la propriété de se combiner avec les bases, et elle est parfaitement soluble dans l'alcool et la potasse caustique très-diluée. Voici le moyen que j'emploie pour l'extraire.

Je dissous du baume de Tolu dans une aussi petite quantité que possible de potasse, et beaucoup d'eau (1); je sature la liqueur par un courant d'acide carbonique. Si elle est suffisamment étendue, ce courant prolongé suffit pour défaire en partie la combinaison de potasse et de résine, et précipiter une portion de celle-ci (2). La solution de baume, d'abord fortement colorée en noir, s'éclaircit alors un peu. On complète la séparation de la résine en traitant par du chlorure de calcium. Il se forme du carbonate et du résinate de chaux insolubles, et, après filtration, un liquide incolore ou légèrement jaunâtre qui renferme le benzoate et le

(1) Quand on opère lentement, on voit, dans cette circonstance, et lorsque tout le baume a disparu, surnager quelques gouttes d'une substance huileuse qui n'est autre que l'hydrogène carboné de l'essence de Tolu. Il est bon de s'en débarrasser en les absorbant au moyen du papier joseph.

(2) Dans certaines préparations avec des liqueurs concentrées, l'acide carbonique précipitait un magma qui m'a paru être un résinate acide de potasse. L'eau en excès le transforme en potasse et résine ordinaire.

cinnamate de potasse. La masse rosée laissée sur le filtre est reprise par l'acide chlorhydrique qui laisse la résine.

Il ne reste plus, pour avoir cette substance bien pure (1), qu'à la dissoudre dans un peu d'alcool et la précipiter par l'eau. Elle se présente alors sous la forme d'une poudre rose, d'un odeur faible de vanille, soluble dans l'alcool et la potasse. Sa couleur, sous certaines influences atmosphériques, peut-être aussi par la lumière, varie très-facilement de teinte. Elle est très-hygrométrique, ce qui exige dans l'analyse de grandes précautions lors des pesées.

Elle m'a donné les résultats suivants :

I. Résine précipitée par chlorure de calcium, et purifiée comme ci-dessus, pour 362 de matière :

220 d'eau
904 d'acide carbonique.

II. Résine de la même préparation : 355 de matière ont donné

211 d'eau
885 d'acide carbonique.

III. Même substance : autre préparation ; 297 :

180 d'eau
744 d'acide carbonique.

IV. Résine obtenue de la même préparation; 628 :

376 d'eau
1573 d'acide carbonique.

V. Résine précipitée par l'acide carbonique. 481 :

279 d'eau
1211 d'acide carbonique.

---

(1) La résine, pour être exempte de toute matière huileuse, doit ne pas s'agglutiner à une température de 102° à 103°.

Ce qui fait en centièmes :

	I.	II.	III.	IV.	V.
C....	68,1	67,9	68,3	68,3	68,6
H....	6,7	6,6	6,7	6,6	6,4
O....	25,2	25,5	25,0	25,1	25,0
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

et se représente par la formule $C^{36}H^{20}O^{5}$:

C^{36}.....	68,4
H^{20}.....	6,3
O^{5}	25,3
	100,0

Traitée par l'acide nitrique fumant, la résine de Tolu s'enflamme et brûle comme dans l'oxygène.

Cette substance est-elle homogène? Rien ne le prouve, mais je le croirais volontiers; seulement on voit, d'après les analyses qui portent sur des substances préparées différemment, que les éléments résineux avec lesquels on pourrait peut-être la décomposer sont isomériques entre eux.

Le résidu résineux resté dans la cucurbite après la préparation de l'essence de Tolu a été fondu dans une bassine de cuivre et chauffé au contact de l'air, jusqu'à ce que tout boursouflement cessât, c'est-à-dire jusqu'à ce que toute l'eau interposée disparût par la volatilisation. Quand la fusion est devenue tranquille, j'ai introduit la résine dans une grande cornue de verre, d'une capacité quadruple au moins du volume de la matière à traiter, et l'ai soumise immédiatement à l'action d'une chaleur assez forte. Elle bout alors avec une régularité parfaite, et laisse passer dans le récipient une quantité considérable d'un liquide incolore, visqueux, qui se solidifie et cristallise par le

refroidissement. Lorsque la production de cette substance a cessé, la distillation s'arrête un instant, et alors elle devient excessivement difficile à conduire, à cause des boursouflements qui menacent à tout moment de faire passer toute la résine de la cornue dans le récipient. Cependant, en remuant et secouant vivement la cornue, on parvient à déterminer une nouvelle fusion tranquille, à partir de laquelle l'opération se régularise encore; souvent aussi, en augmentant beaucoup le feu, lorsqu'on prévoit que va commencer ce second temps de la distillation, on prévient tout boursouflement en maintenant ainsi la matière très-liquide dans la cornue.

A partir de ce moment, il passe des gaz en très-grande quantité, un peu d'eau, et enfin un liquide incolore, très-fluide, plus dense que l'eau. Le résidu est du charbon imprégné de résine, parce qu'à la fin de nouveaux boursouflements empêchent de terminer complétement l'opération.

Les gaz qui s'échappent dans la seconde période de la distillation sont presque uniquement composés d'un mélange d'acide carbonique et d'oxyde de carbone, dont les proportions relatives changent aux différents moments de l'opération, l'oxyde de carbone variant dans le mélange depuis 0,1 jusqu'à 0,9.

Je vais maintenant m'occuper successivement des divers produits de cette distillation du baume de Tolu.

1°. *Substance cristallisée.*

Cette substance, débarrassée d'abord par expression, puis par les cristallisations dans l'alcool, des matières étrangères qui la souillent, se trouve être presque uniquement de l'acide benzoïque. J'en ai eu des quantités considérables, et ai pu l'obtenir sous les deux formes qu'il affecte ordinairement, c'est-à-dire en lames transparentes, brillantes, minces, terminées en flèche, puis en houppes cristallines opaques, l'une et l'autre forme n'étant susceptibles d'être

désignées d'une manière plus précise, parce que les angles ne peuvent pas être mesurés.

Les deux variétés ont été analysées et m'ont donné les résultats suivants :

I. Acide cristallisé en lames ; 530 de matière ont donné :

{ 236 d'eau
{ 1335 d'acide carbonique.

II. Acide cristallisé en houppes ; 555,5 de matière ont donné :

{ 261 d'eau
{ 1400 d'acide carbonique.

Ce qui fait en centièmes :

	OBSERVÉ. I.	OBSERVÉ. II.		Calculé.
C.....	68,70	68,73	C^{28}.....	68,87
H.....	4,94	5,21	H^{12}.....	4,92
O.....	26,36	26,06	O^{4}	26,21
	100,00	100,00		100,00

J'ai préparé le sel de baryte de cet acide ; desséché à 100°, il a donné à l'analyse le résultat suivant :

1319 de matière ont donné 819 de sulfate de baryte, ce qui fait 40,40 de baryte pour cent. Le benzoate de baryte en contient 40,38. L'accord ne peut être plus satisfaisant.

Quand on fait cristalliser de grandes masses (1 kil. par exemple) d'acide benzoïque provenant de la distillation du baume de Tolu, les dernières eaux-mères donnent, parmi les lames d'acide benzoïque, de superbes cristaux prismatiques d'un autre acide qui n'entre dans le mélange qu'en proportion très-petite : c'est de l'acide cinnamique. On peut s'en assurer par l'observation de la forme cristalline ; puis, en choisissant avec attention les plus gros cristaux, j'ai pu en

obtenir assez pour faire une analyse sur de beaux échantillons, par conséquent bien purs.

Cette analyse m'a donné les résultats suivants :

291 de matière ont donné

{ 150 d'eau
{ 775 d'acide carbonique.

Ce qui fait, en centièmes,

	Observé.		Calculé.
C.....	72,95	C^{36}.....	72,9
H.....	5,72	H^{16}.....	5,4
O.....	22,33	O^{4}	21,7
	100,00		100,0

C'est donc bien de l'acide cinnamique.

La petite quantité de cette substance trouvée dans les produits de la distillation du baume de Tolu, me fait croire que sa présence est due à la cinnaméine qui n'a pu être chassée complétement par la distillation sur l'eau, lors de la préparation de l'essence, et cela à cause de sa fixité.

2°. *Substance liquide.*

Le liquide dont j'ai parlé précédemment, et qui passe dans la distillation, quand il ne reste plus d'acide benzoïque, est composé de deux corps. Ils se séparent très-facilement, à cause de la grande différence de leurs points d'ébullition. Je vais d'abord m'occuper du plus volatil.

BENZOÈNE.

Ce corps est incolore, d'une fluidité très-grande, insoluble dans l'eau, peu soluble dans l'alcool et plus dans l'éther. Son odeur est presque la même que celle de la benzine. Sa densité à 18° est 0,87; à 20°, son indice de réfraction est 1,4899, et son pouvoir réfringent 2,5515. Il est

volatil, sans décomposition et sans résidu; son point d'ébullition est à 108°.

On le prépare en distillant dans une cornue le mélange des deux huiles, qui est le produit brut de l'action du feu sur le baume de Tolu.

On recueille à part tout ce qui passe au-dessous de 180°, puis, après une nouvelle distillation, dans laquelle on ne dépasse pas 130° ou 140°, on rectifie plusieurs fois sur la potasse concentrée. Dans cet état le benzoène est absolument pur; car l'huile plus fixe, qu'on pourrait craindre d'y laisser encore, n'étant autre chose que de l'éther benzoïque, est totalement absorbée par la potasse. On dessèche sur le chlorure de calcium.

Cette substance a une composition remarquable, sa formule étant $C^{28}H^{16}$, comme le prouvent les analyses suivantes et sa densité de vapeur.

I. 333,5 de matière ont donné :

{ 272 d'eau
{ 1114 d'acide carbonique.

II. 461 de matière ont donné :

371 d'eau.

III. 556 de matière ont donné :

{ 437 d'eau
{ 1858 d'acide carbonique.

IV. 569 de matière ont donné :

{ 449 d'eau
{ 1901 d'acide carbonique.

Ce qui fait, en centièmes :

	I.	II.	III.	IV.
C.....	91,2	»	91,2	91,1
H.....	9,0	9,0	8,7	8,8
	— 0,2		+ 0,1	+ 0,1
	100,0		100,0	100,0

En calculant d'après la formule $C^{28}H^{16}$, on aurait :

C^{28}.....	91,3
H^{16}.....	8,7
	100,0

Densité de vapeur :

Température de la balance.....	11°,5
Pression barométrique.....	752^{mm},5
Température de la vapeur.....	127°.
Excès de poids.....	442^{mgr}
Capacité du ballon.....	273$^{c.c.}$
Air restant.....	0
Poids du litre de vapeur.....	4,224
Densité rapportée à l'air.....	3,260

Liquide restant dans le ballon incolore.

La densité, calculée d'après la formule $C^{28}H^{16}$, serait 3,246.

Comme on a pu le remarquer, le benzoène a toutes ses propriétés physiques et sa composition communes avec un hydrogène carboné que MM. Pelletier et Walter ont isolé des huiles de résine. Il suffira d'examiner un instant les propriétés qu'attribuent ces chimistes à leur rétinaphte (1), et de les comparer avec celles que j'ai observées sur le benzoène, pour voir de suite que ces deux substances ne sont qu'isomériques et s'ajoutent encore à celles déjà si nombreuses en chimie organique, et qu'on a trouvées ne différer absolument que par leurs propriétés chimiques.

J'ai adopté, pour le corps qui m'occupe dans ce moment, le nom de *benzoène*, qui rappelle, dans les baumes dont il provient, ce caractère presque générique qui est de contenir de l'acide benzoïque. On voit aussi, comme l'ont remarqué MM. Pelletier et Walter, que sa formule est telle,

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, tome LXVII, page 278.

qu'on pourrait le considérer comme le type de la série benzoïque. Enfin ce nom ressemble à celui de la benzine ou benzène, avec lequel le benzoène a les plus grandes analogies.

M. Laurent a pensé qu'il serait plus convenable de prendre un autre hydrogène carboné comme point de départ de la série benzoïque, et l'inutilité des essais faits dans le but de convertir en acide benzoïque le rétinaphte est venue appuyer cette opinion. J'ai donc dû tenter aussi cette conversion avec une substance aussi voisine de l'acide benzoïque par son origine, et j'avoue n'avoir réussi plusieurs fois, mais à grand peine, que sur une matière qui n'avait peut-être pas été purifiée suivant une méthode bien irréprochable. J'opérais en distillant et recohobant fréquemment du benzoène sur un mélange de bichromate de potasse et d'acide sulfurique. Au bout d'un long temps et en chauffant fortement, j'obtenais une assez grande quantité d'acide benzoïque bien cristallisé (1). Cette opération, qui ne réussissait pas toutes les fois, même sur la substance désignée plus haut, a été exécutée devant plusieurs chimistes, qui ont reconnu, comme moi, la formation de l'acide benzoïque en cette occasion. Le benzoène employé avait été purifié par un contact prolongé avec de la potasse caustique, ce qui devait avoir enlevé toute trace d'éther benzoïque.

---

(1) Le benzoate provenant de la saturation de cet acide par la baryte m'a donné les résultats suivants :

793 de matière ont donné 486 de sulfate de baryte, ou en centièmes 40,29 de baryte.

362 de matière ont donné 89 d'eau, ou 2,73 p. 100 d'hydrogène.

La formule du benzoate de baryte est

C^{14}.....	44,31
H^{10}.....	2,64
O^3.....	12,67
BaO..	40,38
	100,00

Cependant je n'ai jamais pu répéter cette expérience avec succès, en employant des substances purifiées de la manière dite plus haut. Il faut donc admettre, ou bien que j'ai négligé une circonstance inaperçue dans les premières expériences, ou bien que le benzoène dissout du benzoate de potasse, ce qui me paraît le plus probable.

J'ai tenté inutilement l'expérience avec du benzoène qui avait séjourné sur de la potasse dans un flacon ouvert. Cette substance ne s'altère pas, même avec de la potasse dans l'oxygène, ni avec du noir de platine dans le même gaz.

Le benzoène en vapeur ne subit aucune altération en passant sur le mélange porté au rouge de chaux et de potasse fondue, mélange auquel M. Dumas a donné le nom de *chaux potassiée*.

Ainsi donc, malgré le désir que j'avais de résoudre cette question, et les efforts nombreux que j'ai faits pour y parvenir, je ne puis affirmer que le corps $C^{28}H^{16}$ est ou n'est pas transformable en acide benzoïque.

L'acide chlorhydrique n'attaque pas le benzoène.

ACIDE SULFOBENZOÉNIQUE.

Quand on mêle de l'acide sulfurique fumant et du benzoène, celui-ci se dissout rapidement en dégageant de la chaleur, et, si l'on a fait absorber à l'acide tout ce qu'il peut en prendre, après le refroidissement, le tout se prend en une masse de petits cristaux d'acide sulfobenzoénique.

Pour obtenir celui-ci à l'état de pureté, on sature la liqueur avec du carbonate de plomb, on y fait passer un courant d'acide sulfhydrique, puis on concentre d'abord au bain-marie et ensuite dans le vide. L'acide se présente alors comme une masse blanche composée de petits feuillets cristallins, qui attire fortement l'humidité de l'air et se noircit bientôt dans le vide séché par l'acide sulfurique.

En même temps que cet acide, il se forme, par l'action e l'acide sulfurique, une substance cristalline très-brillante, ont la présence se manifeste quand on étend d'eau le mé- ınge d'acide sulfurique et de benzoène; elle se dépose alors n quantité très-petite et variable d'une opération à l'autre. lle est très-probablement analogue, pour sa composition, la sulfobenzide, et doit être représentée par la formule $^{28}H^{14}SO^2$. Je n'ai pu m'en procurer assez pour en faire ne analyse.

L'acide sulfobenzoénique cristallisé se compose d'un tome d'acide sulfobenzoénique anhydre et de trois atomes 'eau, comme l'acide sulfonaphtalique. La formule de acide hydraté est $C^{28}H^{14}S^2O^8+H^6O^3$, comme le prouvent es analyses suivantes.

I. 874 de matière blanche et cristallisée dans le vide ont onné :

421 d'eau,
1415 d'acide carbonique.

II. 543 de la même matière, brunie par son séjour dans e vide, ont donné :

266 d'eau,
889 d'acide carbonique.

'e qui fait en centièmes :

	I.	II.		Calculé.
C.	44,1	44,6	C^{28}.....	44,2
H	5,3	5,4	H^{20}.....	5,2
	50,6	50,0	$S^2 O^8$	50,6
	100,0	100,0		100,0

Il se décompose à une température élevée en acide sul- ureux, produits empyreumatiques et charbon.

Sulfobenzoénate de potasse. — C'est un sel anhydre, en

lames distinctes, presque amorphe. Il contient 15,3 pour 100 de potasse; il est très-soluble.

Sulfobenzoénate de baryte.—Il se présente sous forme d'écailles cristallines. Il est très-soluble dans l'eau et point déliquescent. Il ne contient pas d'eau de cristallisation. On l'obtient en saturant par du carbonate de baryte le mélange de benzoène et d'acide sulfurique.

La composition de ce sel se représente par la formule $C^{28}H^{14}S^{2}O^{8}$, BaO.

I. 658 de matière ont donné :

{ 190 d'eau,
{ 840 d'acide carbonique.

II. 710 de matière ont donné :

{ 200 d'eau,
{ 894 d'acide carbonique.

III. 656,5 de matière ont donné 317 de sulfate de baryte.

IV. 472 de sulfobenzoénate de potasse ont donné 543 de sulfate de baryte (pour soufre) ou proportionnellement pour le sulfobenzoénate de baryte, 475 de sulfate.

	I.	II.	III.	IV.		Calculé.
C.....	34,81	34,04	»	»	C^{28}....	35,04
H.....	3,20	3,12	»	»	H^{14}....	2,91
S.....	»	»	»	13,8	S^{2}.....	13,43
Ba....	»	»	28,40	»	Ba.....	28,60
O.....	»	»	»	»	O^{6}.....	20,02
						100,00

Le *sulfobenzoénate d'ammoniaque* cristallise un peu mieux que les précédents en petites étoiles qui se groupent sur le verre qui contient la dissolution.

Le *sulfobenzoénate de plomb* est très-soluble.

Les sels d'acide sulfobenzoénique ne sont précipités, ni par le nitrate d'argent, ni par le nitrate de cuivre. Ils sont assez

stables, et, après un long temps d'exposition à l'air et en dissolution, ne paraissent avoir subi aucune modification. Ceux que je viens d'étudier se conservent parfaitement bien à l'état solide.

ACTION DE L'ACIDE NITRIQUE SUR LE BENZOÈNE.

L'acide nitrique faible n'attaque que très-lentement le benzoène et donne à la longue les mêmes résultats que l'acide concentré et fumant.

PROTONITRO-BENZOÈNE.

(*Nitrobenzoénase*, si l'on adopte la nomenclature dont se sert M. Laurent.)

Ce corps est liquide, possède une odeur d'amandes amères, tout à fait semblable à celle de l'hydrure de benzoïle. Sa saveur est sucrée, puis un peu amère et piquante. Sa densité à l'état liquide est 1,180 à la température de 16°,5. Il bout à 225° et laisse un faible résidu. Sa composition est donnée par les analyses et la formule suivantes :

I. 416 de matière ont donné :

{ 196 d'eau,
{ 936 d'acide carbonique.

II. 536 de matière ont donné :

{ 255 d'eau,
{ 1202 d'acide carbonique.

III. 753 de matière ont donné :

{ 354 d'eau,
{ 1688 d'acide carbonique.

IV. 388,5 ont donné $36^{c.c.}$ d'azote à 19° et sous la pression de 766^{mm}.

II. 506 de matière ont donné :

{ 162 d'eau,
{ 852 d'acide carbonique.

III. 300 de matière ont donné $39^{c.c.}$ d'azote à 17° et 754^{mm} de pression.

Ce qui fait en centièmes :

	I.	II.	III.	Moyenne.		Calculé.
C....	46,2	46,0	»	46,1	C^{28}....	46,1
H....	3,5	3,5	»	3,5	H^{16}...	3,3
Az...	»	»	15,5	15,5	Az^{4}...	15,5
O....	»	»	»	34,9	O^{8}....	35,1
				100,0		100,0

Avec la potasse liquide, il donne, après la saturation par un acide, un précipité brun-rouge tout à fait semblable à celui obtenu dans les mêmes circonstances avec le nitro-benzoène liquide.

Il est facilement dissous, mais inattaquable par l'acide nitrique fumant. Au bout de huit ou dix jours d'ébullition avec cet acide maintenu toujours en grand excès, je n'ai point obtenu de changement appréciable dans la quantité ni la nature du précipité que l'eau détermine dans la liqueur : c'était toujours du binitro-benzoène. L'évaporation des eaux-mères acides n'a donné qu'un résidu insignifiant, composé uniquement de la même substance qui, comme on le voit, est très-peu soluble dans l'eau, même acidulée.

ACTION DU CHLORE SUR LE BENZOÈNE.

A la lumière diffuse, le chlore agit avec énergie sur le benzoène. Il est absorbé avec dégagement d'acide chlorhydrique et production de chaleur. Après un temps très-long, si l'insolation n'est pas venue aider à cette réaction, on trouve dans le liquide chloré une assez grande quantité de cristaux : je les examinerai plus tard.

Avant l'apparition de ces cristaux, il s'est formé évidemment des produits chlorés de diverses sortes, et contenant des proportions différentes du corps halogène. Mais l'état liquide qu'ils affectent tous empêche qu'on ne puisse les isoler; car parmi eux il n'y en a qu'un qui soit volatil sans décomposition.

Désireux de connaître ces différents états de chloruration du benzoène, j'ai dû essayer si la réunion de certaines circonstances physiques ne pouvait déterminer la production d'une substance unique.

J'ai donc fait passer une grande quantité de chlore pendant quatre heures à travers une petite quantité de benzoène refroidi et tenu dans une obscurité complète. Au bout de ce temps, la liqueur, purifiée par un courant d'acide carbonique à chaud (50 ou 60° environ), avait la composition suivante (la matière était très-fluide et incolore):

358,5 de matière ont donné:

{ 249 d'eau,
{ 1031 d'acide carbonique;

ou

C.....	78,42	représentant	28 atomes
H.....	7,71	—	16
Ch.....	13,87	—	0,88

Ce qui fait voir que la substance a été incomplétement attaquée, quoiqu'elle ait été soumise à l'action d'un excès de chlore. Au bout de huit jours, dans les mêmes circonstances, la liqueur purifiée de la même manière présentait la composition suivante.

402 de matière ont donné

150 d'eau,
680 d'acide carbonique,

ou

C.....	46,12	représentant	28 atomes,
H.....	4,11	—	14,7
Ch.....	49,77	—	5,0
	100,00		

Ainsi l'on voit que l'action s'est continuée sans qu'il y ait eu besoin, soit de lumière, soit de chaleur pour l'entretenir; et malgré le temps assez long pendant lequel elle a pu avoir lieu, elle ne s'est pas complétée et n'a pas donné pour résultat un produit bien déterminé.

Cependant si l'on prend ce dernier produit, et qu'on le soumette à la distillation, l'on s'apercevra facilement qu'une première substance passe sans dégagement d'acide chlorhydrique. Après elle ce dégagement commence en même temps qu'une décomposition du résidu. La grande quantité de matière qu'il aurait fallu pour l'étudier m'a empêché d'en connaître les résultats.

I. *Benzoène monochloré* (chlorobenzoénase).— La première substance passée à la distillation sans dégagement d'acide chlorhydrique, et purifiée par de nouvelles distillations, est un liquide incolore, très-fluide et bouillant à 170°, volatil sans décomposition. Il provient du benzoène dans lequel 2 atomes d'hydrogène ont été remplacés par 2 atomes de chlore.

I. 313,7 de matière ont donné (première préparation)

183 d'eau,
755 d'acide carbonique.

II. 376,8 de matière (autre préparation) ont donné

198 d'eau,
920 d'acide carbonique.

III. 379 de matière ont donné

211 d'eau,
920 d'acide carbonique.

Ce qui fait en centièmes,

	I.	II.	III.		
C.....	65,66	66,5	66,2	C^{28}....	66,45
H.....	6,48	5,8	6,1	H^{14}...	5,54
Ch.....	27,86	27,7	27,7	Ch^{2}...	28,01
	100,00	100,0	100,0		100,00

II. Quand on fait passer du chlore dans du benzoène à la lumière diffuse un peu forte, jusqu'à ce qu'il ne se dégage plus d'acide chlorhydrique (*), on obtient une liqueur incolore, d'une grande fluidité, qui, purifiée par la méthode donnée plus haut, possède la composition suivante :

I. 547,5 de matière ont donné

{ 130 d'eau,
{ 708 d'acide carbonique.

II. 617,5 de matière (deuxième préparation) ont donné

{ 149 d'eau,
{ 805 d'acide carbonique.

Ce qui fait, en centièmes,

	I.	II.
C.....	35,3(**)	35,6
H.....	2,6	2,7
Ch.....	62,1	61,7
	100,0	100,0

(*) Pour en être averti, on n'a qu'à plonger le tube de dégagement des gaz dans de l'eau contenant un morceau de craie. Tant que celui-ci est attaqué, il se dégage, outre le chlore, de l'acide chlorhydrique.

(**) On ne peut espérer de trouver, dans ces circonstances, des corps dont l'analyse donne des nombres très-rapprochés de ceux calculés d'après la formule. Il est impossible, en effet, de purifier ces corps par distillation ; ils se décomposent en donnant de l'acide chlorhydrique. D'un autre côté, pour être sûr que l'on a complété jusqu'au point voulu l'action du chlore, on se risque beaucoup à dépasser ce point et à avoir un corps plus chloré en mélange avec celui qui prédomine et qu'on a désiré obtenir seul. Heureu-

La formule qui convient le mieux à ces nombres est celle-ci :

C^{28}.....	36,2
H^{12}.....	2,6
Ch^{8}.....	61,2
	100,0

qui ferait de ce corps un chlorhydrate de benzoène très-chloré, ou chlorhydrate de chlorobenzoénise

$$C^{28}H^{10}Ch^{6}, Ch^{2}H^{2}.$$

Le corps $C^{28}H^{10}Ch^{6}$ est tel, qu'il pourrait être considéré comme le chloroforme de la série benzoïque, donnant avec 3 atomes d'eau de l'acide benzoïque et de l'acide chlorhydrique. Je n'ai pas observé cette réaction.

III. La liqueur visqueuse contenant les cristaux dont j'ai parlé plus haut ayant été chauffée dans le courant de chlore pour compléter l'absorption de ce gaz, et purifiée ensuite par la méthode déjà employée, a donné les résultats suivants à l'analyse.

I. 646 de matière ont donné

{ 98 d'eau,
{ 584 d'acide carbonique.

II. 842,5 de matière (autre préparation) ont donné

{ 116 d'eau,
{ 756 d'acide carbonique.

Ce qui fait

	I.	II.		Calculé.
C....	24,87	24,6	C^{28}.....	24,9
H....	1,67	1,6	H^{10}.....	1,5
Ch...	73,46	73,8	Ch^{14}....	73,6
	100,00	100,0		100,0

sement, le poids atomique du chlore étant très-fort par rapport à ceux du charbon et de l'hydrogène, on ne peut se tromper sur la composition et la formule de ces substances, 1 atome de plus ou de moins du premier, admis dans la formule, changeant considérablement les proportions relatives de ces éléments dans la composition en centièmes.

Ce qui fait de ce corps un bichlorhydrate de benzoène trichloruré, du même chlorure que plus haut :

$$C^{28}H^{10}Ch^{6}, Ch^{4}H^{4}.$$

Ces substances laissent dégager au feu de l'acide chlorhydrique.

IV. Les cristaux qui se forment dans l'action du chlore sur le benzoène, et qui se trouvent dans la liqueur précédente, ont pris naissance sous l'influence prolongée de la lumière diffuse ou bien sous celle plus active de la lumière solaire directe. Ils se purifient par cristallisation dans l'éther, véhicule dans lequel ils sont un peu solubles, surtout à chaud et sous une pression un peu plus forte que la pression atmosphérique. Obtenus ainsi ils sont d'une netteté et d'une transparence parfaites, ressemblant un peu à de l'acide benzoïque et presque déterminables. Cependant il est bien difficile de les avoir bien exempts de l'huile visqueuse, moins chlorée, qui souille les cristaux, se déposant dans l'éther en même temps qu'eux, et n'étant enlevée que très-imparfaitement par la pression entre papier joseph.

Ils ont la composition suivante, que les analyses lui assignent.

I. 680 de matière ont donné

111 d'eau.

II. 591 de matière ont donné

100 d'eau,
495 d'acide carbonique.

III. 741 de matière très-pure ont donné

118 d'eau,
609 d'acide carbonique.

IV. 462 de matière ont donné 1405 de chlorure d'ar-

gent; ce qui fait :

	I.	II.	III.	IV.
C....	»	22,84	22,42	»
H....	1,84	1,88	1,76	»
Ch...	»	75,28	75,82	75,10
		100,00	100,00	

En calculant d'après la formule $C^{28}H^{12}Ch^{16}$, l'on a

C^{28}.....	22,6
H^{12}.....	1,6
Ch^{16}....	75,8
	100,0

formule qui se décompose ainsi :

$$C^{24}H^{6}Ch^{10},\ Ch^{6}H^{6}.$$

On peut voir facilement que ce corps correspond au chlorure de benzine que M. Péligot a obtenu en soumettant la benzine à l'action du chlore au soleil. Dans ce chlorure, en effet, il ne reste que 6 atomes d'hydrogène dans le radical $C^{24}H^{12}$, et le corps chloré dérivé $C^{24}H^{6}Ch^{6}$ s'est uni à 12 atomes d'acide chlorhydrique pour donner

$$C^{24}H^{6}Ch^{6},H^{6}Ch^{6}.$$

V. Enfin, quand on soumet à la distillation dans un courant de chlore la substance liquide qui accompagne les cristaux que je viens d'examiner et ces cristaux eux-mêmes, si on les y laisse, et si l'on cohobe dix ou douze fois ce qui passe dans le récipient, on obtient chaque fois une petite portion d'un corps cristallisé, soyeux, nacré, d'un grand éclat, et qui, à la fin de chaque distillation, se condense dans le col de la cornue. Si l'on a la patience de cohober un nombre de fois suffisant la substance liquide, on la transforme ainsi presque complétement. Il se dégage en

temps beaucoup d'acide chlorhydrique, ce que l'on
:e facilement par la méthode donnée plus haut.
e substance (que l'on peut appeler benzoène sex-
, ou que, dans la nomenclature déjà citée et convena-
ıt étendue à ce cas, l'on devrait nommer chloroben-
e), après avoir été purifiée par expression entre
joseph et cristallisation dans l'éther, est volatile
écomposition, et présente la composition suivante.
ı8 de matière ont donné

27 d'eau,
432 d'acide carbonique.

:21 de matière ont donné 643 de chlorure d'argent.
fait, en centièmes,

	I.	II.
C	27,6	»
H	0,7	»
Ch ...	71,7	71,7
	100,0	

nule $C^{28}H^{4}Ch^{12}$ exige

C^{28}	28,1
H^{4}	0,6
Ch^{12}	71,3
	100,0

ésumé, l'action du chlore sur le benzoène m'a donné
ps suivants :

$C^{28}H^{14}Ch^{2}$,
$C^{28}H^{10}Ch^{6}$, $Ch^{2}H^{2}$,
$C^{28}H^{10}Ch^{6}$, $Ch^{4}H^{4}$,
$C^{28}H^{6}$ Ch^{10}, $Ch^{6}H^{6}$,
$C^{28}H^{4}$ Ch^{12}.

bstances qui manquent pour rendre cette séric com-

plète sont :

$$C^{28}H^{12}Ch^{4},$$
$$C^{28}H^{8}\ Ch^{8},$$
$$C^{28}H^{2}\ Ch^{14},$$
$$C^{28}Ch^{16},$$

ou des combinaisons de ces principes avec l'acide chlorhydrique.

Pour le premier $C^{28}H^{12}Ch^{4}$, il n'y a nul doute pour moi qu'il n'existe libre ou combiné dans les résidus de la substance chlorée dans l'obscurité, après la préparation du benzoène monochloré, $C^{28}H^{14}Ch^{2}$.

Quant aux deux derniers, qui sont des produits d'une chloruration plus complète que celle de la substance cristallisée $C^{28}H^{6}Ch^{12}$, je doute qu'il soit possible, avec le chlore et le benzoène, de les obtenir ; seulement je dois dire que toutes les fois que j'ai poussé un peu loin mes distillations dans le courant de chlore pour obtenir cette dernière substance, il m'est resté comme résidu une sorte de résine jaune qui n'a pas paru être un produit complexe résultant de l'altération d'une substance bien déterminée.

En résumé, le benzoène est une substance que l'on doit placer à côté de la benzine. On a pu remarquer, en effet, que cette dernière a présenté des réactions analogues à toutes celles que j'ai étudiées sur le benzoène, à quelques-unes près, qu'une étude plus approfondie fera, j'en suis persuadé, reconnaître comme appartenant aussi à la benzine. En effet, l'action de l'acide nitrique sur le benzine n'a pas été poussée au-delà du premier produit : la nitrobenzide ; et celle du chlore n'a été observée que dans une seule circonstance, en exposant de la benzine à l'action d'une atmosphère de chlore et du soleil.

Je crois, de plus, que la benzine est une substance dont

nalogues se retrouveront fréquemment en chimie orga-
ıe. Le corps que j'étudie en ce moment est un des
nples les plus frappants des ressemblances qui peuvent
ter entre des substances de cette espèce.

BINITROBENZIDE.

omme je l'ai dit plus haut, je n'ai trouvé d'autres réac-
s que celles du chlore et de l'acide nitrique, dont
les produits ne fussent parfaitement représentés dans
leux séries du benzoène et de la benzine. M. Dumas
ıt bien voulu mettre à ma disposition un peu de cette
ıière substance, j'ai pu constater sur elle que le com-
correspondant au binitrobenzoène existait aussi. En
t, de la benzine dissoute dans cinq ou six fois son poids
ide nitrique fumant que l'on fait bouillir jusqu'à ce que
ıélange soit réduit au cinquième de son volume pri-
if, se transforme complétement en binitrobenzide (ni-
ıenzinèse) que l'on précipite entièrement et parfaitement
par une addition d'eau. Le précipité lavé, cristallisé
s l'alcool et fondu, m'a donné à l'analyse les résultats
ants.

. 658 de matière ont donné

{ 150 d'eau,
{ 1027 d'acide carbonique;

[. 305 ont donné 46$^{c.c.}$ d'azote humide à 18° et 759^{mm},4
ıression, ou, en centièmes,

	I.	II.	Calculé.	
C.....	42,70	»	C^{28}.....	42,77
H.....	2,56	»	H^{8}	2,38
Az.....	»	17,1	Az^{4}.....	16,83
O.....	»	»	O^{8}..	38,02
				100,00

Le binitrobenzide fond au-dessous de 100°, et se prend par le refroidissement en une masse aiguillée qui ressemble parfaitement au binitrobenzoène. Il se dissout très-facilement dans l'alcool chaud, et celui-ci, par le refroidissement, le laisse cristalliser en larges lames qui s'irradient autour de quelques centres. Quand on laisse la solution s'évaporer à l'air, la substance se dépose sous la forme de longues aiguilles.

Une fois cette analogie bien déterminée entre les hydrogènes carbonés, tels que la benzine, le cinnamène, le cumène (1), etc., tous corps qui proviennent de la décomposition d'un acide organique puissant sous l'influence d'une base en excès, on peut se demander si l'origine du benzoène n'est pas aussi la même, et si la décomposition de quelque acide n'aurait pas pu engendrer cette substance par la perte de quelques-uns de ses éléments. Pour cela on pourrait supposer ou bien l'existence d'une substance analogue à l'acide benzoïque et de la forme $C^{32}H^{16}O^{4}$ (isomérique avec le benzoate de méthylène), qui, en perdant de l'acide carbonique ($C^{4}O^{4}$), serait devenue $C^{28}H^{16}$, ou bien admettre que de l'acide cinnamique $C^{36}H^{16}O^{4}$ se sera transformé en oxyde de carbone $C^{8}O^{4}$, et benzoène $C^{28}H^{16}$.

ÉTHER BENZOÏQUE.

La seconde huile, la plus fixe des deux qui se produisent dans la distillation du baume de Tolu, est incolore, d'une odeur éthérée quand elle est bien pure, et rappelant en même temps celle du baume. Elle a une densité de 1,06 à 18°, et bout entre 208 et 209°. Sa composition est donnée par les analyses suivantes.

---

(1) Et même l'anisole de M. Cahours. (*Voyez* le cahier d'août de cette année). Quelques faits inédits qui m'ont été communiqués par ce chimiste confirment cette assertion.

I. 342,2 de matière ont donné

{ 205 d'eau,
{ 903 d'acide carbonique.

II. 525 de matière ont donné

{ 317 d'eau,
{ 1383 d'acide carbonique.

III. 400 de matière ont donné

255 d'eau;

ce qui fait, en centièmes,

	I.	II.	III.
C.....	71,96	71,84	»
H.....	6,66	6,70	7,04
O.....	22,38	21,46	»
	100,00	100,00	

Ce qui conduit à la formule

C^{36}.....	72,0
H^{20}.....	6,6
O^{4}.....	21,4
	100,0

C'est, comme on voit, la formule de l'éther benzoïque. La densité de vapeur, quoique un peu faible à cause de la présence de l'acide benzoïque, dont il est difficile de débarrasser cette substance, confirme ce résultat. En outre toutes les propriétés chimiques et physiques de cette matière doivent décider à la considérer comme identique avec l'éther benzoïque.

L'acide nitrique l'attaque vivement, et la convertit en acide benzoïque et une autre substance jaune, amorphe, ressemblant à du liége altéré par le chlore ou l'acide nitrique. J'ai analysé cet acide benzoïque, et lui ai trouvé la composition suivante.

342,5 de matière ont donné

{ 165 d'eau,
{ 865 d'acide carbonique.

Ce qui fait, en centièmes,

			Calculé.
C.....	68,85	C^{28}.....	68,87
H.....	5,30	H^{12}.....	4,92
O.....	25,85	O^{4}	26,21
	100,00		100,00

716 du sel de baryte ont donné 438 de sulfate de baryte ou 40,15 p. 100 de baryte. Le benzoate de cette base en contient 40,38; c'est donc bien de l'acide benzoïque.

Si l'on distille plusieurs fois la liqueur contenant le benzoate de potasse et l'excès de potasse employée, en ne recueillant chaque fois que les premières portions, et terminant par une distillation sur la chaux, on obtient un liquide bouillant entre 75 et 80° ou un peu au-dessus (la présence d'une grande quantité de chaux nécessaire à l'opération m'a empêché d'apprécier exactement cette température), inflammable et brûlant avec une flamme bleue, d'une odeur vive, miscible à l'eau en toutes proportions, enfin présentant tous les caractères de l'alcool. J'aurais voulu, pour avoir une preuve plus complète de la véritable nature de ce liquide, l'analyser; mais on sait toutes les peines que l'on a à purifier convenablement des quantités même un peu fortes d'alcool. Il m'était impossible de le tenter dans les circonstances où je me trouvais (1); puis

(1) J'ai recueilli une certaine quantité de cet alcool, pris sa densité, cherché dans les Tables de M. Gay-Lussac sa richesse, et, après l'analyse, j'ai trouvé pour le charbon un nombre un peu plus fort que celui que l'on peut calculer avec ces données. La raison en est dans ce que je vais dire.

il est bien difficile de priver cet alcool d'un peu d'éther benzoïque ou autre substance huileuse qu'il contient en dissolution. Pourtant je ne désespère pas, si je peux me procurer de cet éther en plus grande quantité, d'apporter, par l'analyse de l'alcool qu'il donne, la dernière preuve de cette identité.

Du reste, la seule substance que l'on pourrait confondre avec l'éther benzoïque, dans le cas qui m'occupe, serait le benzoate de méthylène, dont les propriétés chimiques et physiques sont presque les mêmes que celles de l'éther benzoïque, et dont la composition en centièmes diffère peu de celle de cet éther. Cependant le carbone y est plus faible, et je concevrais difficilement qu'une substance étrangère dans mon huile (la seule qu'elle pourrait conserver est de l'acide benzoïque qui renferme moins de charbon qu'elle), en la supposant benzoate de méthylène, pût augmenter la proportion de carbone et d'hydrogène qui s'y trouvent, jusqu'à les faire arriver aux chiffres qui conviennent à l'éther benzoïque.

L'ammoniaque gazeuse est absorbée par l'éther du baume de Tolu et y développe une matière blanche, mamelonnée, qui se résout au contact de l'eau en éther et ammoniaque. Les acides favorisent cette réaction.

Il se passe aussi quelque chose de semblable au contact de la potasse concentrée. L'éther semble alors se solidifier complétement; mais quand on ajoute immédiatement de l'eau, une portion seulement se dissout, et l'éther non décomposé tombe au fond et disparaît plus lentement. Pour peu que la liqueur soit échauffée, rien de semblable ne se passe. Au contact de l'air, l'alcool naissant et la potasse en excès réagissent l'un sur l'autre, et il se produit de la résine d'aldéhyde, qui colore la liqueur.

Pour préparer l'éther benzoïque au moyen du baume de Tolu, on chauffe l'huile brute jusqu'à 200°. Alors si la température a été portée lentement à ce point, il ne reste

il faut, je crois, admettre, comme l'a énoncé M. Dumas à l'Académie des Sciences, que l'éther benzoïque a pour origine les liquides sucrés du végétal, liquides dont la fermentation a fourni l'alcool naissant à l'acide benzoïque libre qui existe dans le baume.

J'ajouterai à cela que l'éther ainsi formé a bien pu entrer en combinaison avec d'autres substances pour contribuer à former la résine. On voit même que la formule de celle-ci $C^{36}\,H^{20}\,O^{5}$ tendrait à faire croire que cette transformation est due à une simple oxydation de l'éther benzoïque. Cet oxyde, au feu, se décomposerait en régénérant de l'éther benzoïque (1) et donnant comme produits accidentels, et dans les proportions indiquées plus haut, les diverses substances que j'ai obtenues.

Quelle que soit l'importance que l'on doive attacher à mon opinion sur la formation et l'origine de la résine qui ferait jouer à l'éther benzoïque le rôle d'une huile essentielle, je crois que le baume de Tolu et la résine ne seront pas les seuls qu'un éther libre ou combiné aura servi à constituer aux dépens de l'acide libre du végétal et du sucre fermenté. J'ai déjà parlé de cette huile tirée du benjoin, et que l'analyse de M. Cahours me fait supposer être de l'éther benzoïque. Quelques particularités du travail de M. Plantamour sur le baume du Pérou me portent à croire que l'on pourrait en extraire de l'éther cinnamique sans le concours de l'alcool. Enfin il me semble, d'après ce que j'ai déjà pu conclure d'un travail commencé sur la résine gaïac, que les résultats en seront favorables à mon opinion. Ce sera l'objet de mon second Mémoire.

---

(1) Cette hypothèse permet un rapprochement très-curieux entre la résine de Tolu et la colophane, celle-ci donnant à la distillation, outre des produits accidentels (de l'eau et du charbon), des substances isomériques avec l'essence de térébenthine, dont la colophane peut être considérée comme l'oxyde.

Qu'il me soit permis, en finissant, de témoigner ma reconnaissance à MM. Soubeiran et Thierry, de la Pharmacie centrale, à la bienveillante amitié desquels je dois presque tout le baume dont j'ai eu besoin dans le courant de mes recherches.

MÉMOIRE

Sur le phényle et ses dérivés;

PAR M. AUG. LAURENT.

Hydrate de phényle.

Il y a quelques années, j'ai envoyé à l'Académie un travail dans lequel, sous les noms d'acides chlorophénésique et chlorophénisique, j'ai fait connaître deux composés que l'on obtient, en faisant passer un courant de chlore dans l'huile du gaz de l'éclairage par la houille. Depuis longtemps je désirais revenir sur ce travail, qui paraissait me promettre plusieurs résultats importants. Un local convenable pour opérer sur ces matières ayant été mis à ma disposition, je me suis proposé les questions suivantes à résoudre :

1°. Le goudron traité par le chlore, distillé, traité par l'acide sulfurique, puis enfin traité de nouveau par le chlore et l'ammoniaque, donne de l'acide chlorophénisique.

Dans ce traitement compliqué ne se formerait-il pas un chloride qui serait changé en acide oxydé par l'ammoniaque ?

A quoi servent la distillation et l'acide sulfurique ? Quelle est la matière du goudron qui donne naissance à l'acide chlorophénisique ?

2°. Le goudron de houille donne avec l'acide nitrique de l'acide picrique (carbazotique) et un nouveau composé qui l'un et l'autre renferment, comme l'acide chlorophé-

nisique, 24 atomes de carbone. Ces trois corps n'auraient-ils pas une origine commune ?

Pour résoudre ces questions, j'opérai sur une cinquantaine de litres de goudron, que je distillai dans une cornue de cuivre. Dans cette opération plusieurs carbures d'hydrogène passent d'abord, puis vient la naphtalène, ensuite l'anthracène et le chrysène.

La distillation fut arrêtée lorsque l'anthracène commença à distiller. La partie distillée fut soumise de nouveau à la distillation et séparée en trois autres parties:

La 1re pouvant bouillir de 100 à 150°,

La 2e ..... 150 à 200,

La 3e consistant principalement en naphtaline.

Sur chacune d'elles je fis le même essai. Je les traitai d'abord par le chlore, puis par l'acide sulfurique ; je distillai, je fis de nouveau passer du chlore, et j'y versai de l'ammoniaque. La deuxième portion (bouillant de 150 à 200°) me donna seule du chlorophénisate d'ammoniaque. Alors, je lui fis subir les mêmes opérations qu'aux précédentes, si ce n'est que je supprimai, à chaque nouvel essai, l'acide sulfurique, puis la distillation, puis l'ammoniaque, et je finis par obtenir, par l'action suffisamment prolongée du chlore seul sur l'huile bouillant de 150 à 200°, de l'acide chlorophénisique cristallisé.

Il fallait alors chercher à obtenir la matière qui donne immédiatement cet acide. J'eus naturellement recours à la distillation. Mais après en avoir fait une cinquantaine, j'avais une foule d'huiles dont les points d'ébullition variaient de 4 à 5 degrés et qui, distillées de nouveau, se partageaient encore en huile plus volatile et ensuite moins volatile. Cependant le chlore agissait à peu près de la même manière sur la plupart d'entre elles.

J'essayai alors l'emploi des réactifs.

J'agitai mes huiles avec l'acide sulfurique ; il se forma deux couches : l'une presque incolore, légère, consistant

en huile non attaquée; l'autre brune, épaisse, renfermant l'acide sulfurique. L'huile traitée par le chlore ne donna plus ou que très peu d'acide chlorophénisique.

La substance qui donne naissance à cet acide se trouvait donc en combinaison avec l'acide sulfurique. De l'eau ayant été versée sur celui-ci, il se sépara une matière brune épaisse, en grande partie soluble dans l'ammoniaque, qu'elle colora en bleu, surtout au contact de l'air. Cette couleur disparut également à l'air par suite de l'évaporation de l'ammoniaque.

Le chlore et cette matière ne m'ayant donné aucun résultat satisfaisant, je neutralisai avec de la craie la dissolution sulfurique; je séparai, par la filtration, le sulfate calcique, et par l'évaporation j'obtins une masse saline, assez abondante, colorée en bleu par une matière étrangère, et consistant en un mélange de deux sulfosels dont je n'ai pu retirer la matière que je cherchais.

Pensant que l'acide chlorophénisique, qui renferme 1 atome d'eau, provenait d'une substance hydratée et peut-être acide, et en combinaison avec une matière particulière, je versai dans l'huile bouillant de 150 à 200° une dissolution de potasse caustique saturée à chaud; j'y ajoutai en même temps de la potasse pulvérisée. Aussitôt l'huile se prit en une masse blanche, pâteuse, cristalline, et il se dégagea une odeur extraordinairement forte et désagréable.

Je versai de l'eau chaude sur la masse blanche; il se forma deux couches, l'une, légère et huileuse, l'autre plus pesante et aqueuse. Celle-ci ayant été séparée, fut neutralisée par l'acide chlorhydrique; il se sépara une huile plus légère que la dissolution de chlorure de potassium. Après l'avoir lavée avec un peu d'eau, je fis agir le chlore sur elle, et elle se changea presque entièrement en acide chlorophénisique. Ayant ainsi obtenu la matière que je cherchais, il me fut facile de la purifier : pour cela je la fis digérer avec du chlorure de calcium, puis je la soumis à

la distillation. Après cinq ou six opérations semblables, j'obtins une matière huileuse dont le point d'ébullition variait de 187 à 188°. Ayant remarqué qu'à la température de 8 à 10° elle se solidifiait presque entièrement, je la fis refroidir très-lentement, et, lorsqu'elle fut à moitié cristallisée, je décantai la partie liquide. Les cristaux ainsi obtenus sont suffisamment purs, et, comme on le verra tout à l'heure, il serait impossible de les purifier davantage en les exprimant entre des feuilles de papier joseph. Il faut seulement avoir soin de ne pas trop refroidir, et surtout de le faire lentement, afin qu'il se forme de gros cristaux que l'on peut facilement égoutter. Il faut de plus que le liquide soit renfermé dans un flacon à l'émeri, et, lorsqu'il est à moitié solidifié, il faut renverser le flacon sur un autre vase dont il ferme l'ouverture, afin que les cristaux n'aient pas le contact de l'air.

Ce corps ainsi purifié, que je nomme *hydrate de phényle*, possède des propriétés qui ont la plus grande analogie avec celles de la créosote et de l'acide carbolique de Runge; il est même probable que l'acide carbolique n'est que de l'hydrate de phényle impur. Je marquerai d'un K les propriétés qui lui seront communes avec la créosote, et d'un C celles qui lui seront communes avec l'acide carbolique.

L'hydrate de phényle, ou l'acide phénique, est solide, incolore, cristallisé en longues aiguilles qui appartiennent probablement au système prismatique droit à base rectangulaire.

Il entre en fusion vers 34 à 35° et bout entre 187 et 188°. La créosote ne se solidifie pas même à 27° au-dessous de 0°, et l'on a vu quelquefois dans l'acide carbolique des aiguilles fusibles au-dessus de 15°. La créosote bout à 203°, et l'acide carbolique à 197,5. Sa saveur et son odeur ressemblent beaucoup à celles de la créosote C.

J'en ai donné à quelques personnes pour des maux de

dents, et elle a produit le même effet que la créosote; elle attaque fortement la peau des lèvres et des gencives, K, C

Sa densité est de 1,065 à + 18°; celle de la créosote = 1,037 à + 20°, et celle de l'acide carbonique = 1,062 à 20°.

L'hydrate de phényle brûle avec une flamme fuligineuse, K, C.

A peine ses cristaux ont-ils le contact de l'air, qu'ils se liquéfient; il paraît qu'il ne faut qu'une trace d'humidité pour les rendre liquides, car à l'analyse les cristaux et l'huile m'ont donné sensiblement la même composition.

Il dissout un peu d'eau, et l'eau peut en dissoudre une petite quantité K, C; l'alcool et l'éther le dissolvent en toutes proportions, et quelques gouttes de ces liquides l'empêchent de cristalliser à la température ordinaire.

Il dissout le soufre, et celui-ci, par le refroidissement, cristallise en octaèdres rhomboïdaux K, C.

Il coagule l'albumine K, C; l'acide acétique le dissout très-bien.

L'iode s'y dissout, mais il ne paraît pas l'altérer K, C.

Le brome l'attaque avec énergie; il se dégage une grande quantité d'acide bromhydrique, et, lorsque toute réaction a cessé, l'on obtient une matière cristalline, sur laquelle je reviendrai plus bas.

Le brome réagit vivement sur la créosote, et, lorsque l'action est épuisée, il reste une huile brune qui ne ressemble nullement à la matière que l'on obtient avec l'hydrate de phényle. Runge n'a pas examiné l'action du brome sur l'acide carbolique. Suivant ce chimiste, cet acide est attaqué par le chlore; il se dégage de l'acide chlorhydrique; par la distillation il redevient incolore, mais il possède d'autres propriétés. L'hydrate de phényle donne avec le chlore de l'acide chlorhydrique, puis il forme de l'acide chlorophénisique cristallisé. La créosote est vivement attaquée par le chlore, il se forme une matière brune qui ne renferme pas d'acide chlorophénisique.

L'acide nitrique attaque avec une violence extrême l'hydrate de phényle; chaque goutte d'acide que l'on y laisse tomber produit un bruissement, comme un fer rouge que l'on plonge dans l'eau, et par l'ébullition il se change entièrement en acide picrique (carbazotique).

La créosote et l'acide nitrique donnent de l'acide oxalique. L'acide carbolique, suivant Runge, se colore en brun par l'acide nitrique; par l'agitation il se forme une résine noire, qui se sépare d'un liquide rouge.

L'acide sulfurique dissout l'hydrate de phényle avec dégagement de chaleur, et sans se colorer; l'eau versée dans cette dissolution n'en précipite rien, K, C.

Le potassium l'attaque d'abord lentement; à l'aide d'une douce chaleur, l'action devient plus rapide; il se dégage de l'hydrogène, et l'on obtient une matière cristallisée en aiguilles, K, C.

La potasse solide se combine avec l'hydrate de phényle en formant la même matière que l'on obtient avec le potassium. La combinaison est soluble dans l'eau, K, C. L'ammoniaque liquide ne le dissout pas.

Lorsque l'on plonge un copeau de bois de pin dans l'acide carbolique, et ensuite dans l'acide chlorhydrique, ce bois se colore en beau bleu par la dessiccation. En faisant la même opération avec l'hydrate de phényle, le bois n'a presque pas changé de couleur, il est devenu à peine verdâtre; mais, en plongeant le bois dans l'acide nitrique, il a pris, par la dessiccation, une belle couleur bleue, qui a passé rapidement au brun.

L'hydrate de phényle réduit l'oxyde de mercure par l'ébullition, et sépare l'argent à l'état métallique de son nitrate, K.

Lorsque l'on verse quelques gouttes d'hydrate de phényle sur l'oxyde puce de plomb, il se dégage de la chaleur, et il se produit un léger bruissement. En ajoutant ensuite quelques gouttes d'eau, et en faisant bouillir le mélange, l'oxyde se

décolore, et l'on obtient une matière jaune-brun qui renferme de l'oxyde de plomb. L'action est aussi vive si l'on se sert d'une dissolution d'hydrate de phényle dans l'acide acétique, K.

Si l'on fait bouillir du protoxyde de plomb avec de l'hydrate de phényle, on obtient une matière liquide très-épaisse; en la touchant avec une goutte d'alcool, elle se solidifie complétement en une masse blanche un peu soluble dans l'alcool bouillant. Les vapeurs d'éther solidifient également cette matière liquide, qui reprend son premier état quelques instants après. En présence de l'eau, elle reste liquide.

L'hydrate de phényle peut distiller sur l'acide phosphorique fondu, sans subir d'altération.

L'acide chromique solide le décompose avec violence.

Soumis à l'analyse, il m'a donné sur

I. 0,3206
0,8920 d'acide carbonique,
0,1910 d'eau;

II. 0,3525
0,9890 d'acide carbonique,
0,2070 d'eau;

III. 0,315 d'hydrate de phényle liquide et se solidifiant à + 12°
0,877 d'acide carbonique,
0,19 d'eau;

ce qui fait pour cent :

		Calculé.	TROUVÉ. I.	II.	III.
C^{24}....	917	76,93	76,94	77,55	76,90
H^{12}....	75	6,40	6,61	6,51	6,80
O^{2}....	200	16,67	16,45	15,94	16,30
	1192	100,00	100,00	100,00	100,00

On verra plus loin que cette formule peut se représenter par

$$C^{24}H^{10}O + H^2O.$$

Runge n'a pas analysé l'acide carbolique.

La créosote renferme, d'après Ettling,

Carbone.....	76,2
Hydrogène.....	7,8
Oxygène.....	16,0
	100,0

Combinaisons de l'hydrate de phényle avec les bases.

L'hydrate de phényle peut se combiner avec les bases alcalines, la baryte, la chaux, l'oxyde de plomb. Je ne pense pas que, pour cela, on doive le considérer comme un acide, car il ne rougit pas la teinture de tournesol, et il ne se combine pas avec l'ammoniaque; c'est plutôt un corps analogue à l'alcool, au sucre, etc., dont l'eau peut être remplacée par certains oxydes. Cependant je ne me prononce pas d'une manière affirmative. Avec la potasse il forme une combinaison cristallisée en aiguilles blanches, très-solubles dans l'alcool, dans l'éther et dans l'eau. Je ne suis pas parvenu à me procurer cette combinaison à un état de pureté assez grand pour en faire une analyse exacte. Je l'ai toujours obtenue avec un léger excès de potasse. Mais il est très-probable que cette combinaison doit se représenter par cette formule

$$C^{24}H^{10}O + KO,$$

avec ou sans 1 atome d'eau. Cette combinaison peut s'obtenir anhydre en faisant chauffer du potassium avec de l'hydrate de phényle. Il se dégage de l'hydrogène, et l'on obtient une matière, cristallisée en aiguilles, soluble dans l'eau et l'alcool, et dont les acides séparent l'hydrate de phényle.

Suivant Runge, le carbolate basique de plomb desséché à 200° contient 65,08 d'oxyde et 34,92 d'acide carbolique.

En supposant que l'hydrate de phényle et l'acide carbolique soient la même substance, ces nombres peuvent correspondre à 3 atomes de base et 2 atomes d'acide. L'expérience donne 2202 pour l'acide carbolique combiné avec 3 atomes d'oxyde de plomb et 2 atomes d'hydrate de phényle valent 2160.

Le carbolate basique de chaux renferme, d'après Runge, 48,35 de chaux et 100 d'acide. Ces nombres donnent pour 3 atomes de base 2208 d'acide.

La formule $3CaO + 2C^{24}H^{10}O + H^2O$ donnerait 2272; on pourrait la représenter par

$$2(C^{24}H^{10}O + CaO) + (H^2O + CaO).$$

Le sel basique de plomb aurait la même formule; mais on ne peut supposer que ce sel retient 1 atome d'eau à 200°.

Ayant versé un léger excès d'hydrate de phényle dans de l'eau de baryte, je fis bouillir le tout pour chasser l'excès d'hydrate de phényle, et j'évaporai la solution dans le vide sec à la température ordinaire: il se forma une croûte cristalline dont 0,270 donnèrent 0,175 de sulfate de baryte correspondant à 0,1147 d'oxyde.

Le poids de la substance combinée avec 1 atome de barium était donc 1295,00. La formule

$(C^{12}H^{10}O, BaO) + 2Aq$ ou $C^{12}H^{12}O, H^2O + BaO + H^2O$

donne 1304,00.

Cette combinaison, chauffée dans un tube de verre, laisse dégager un peu d'eau, puis une matière huileuse incolore, d'une saveur qui est d'abord sucrée et qui devient ensuite brûlante. Il paraît qu'elle renferme de l'hydrate de phényle, car en y plongeant un copeau de pin, celui-ci devient bleu, puis brun, après avoir été touché avec une goutte d'acide nitrique.

Acide sulfophénique.

En versant de l'acide sulfurique ordinaire sur de l'hy-

drate de phényle, ces deux corps se combinent en toutes proportions et la température du mélange s'élève un peu. Si l'on ajoute assez d'acide sulfurique, après vingt-quatre heures de contact, l'eau versée dans le mélange n'en précipite rien.

En saturant la dissolution par le carbonate de baryte, à l'aide de l'ébullition, filtrant, évaporant, l'on obtient une matière cristalline que l'on purifie en la dissolvant dans l'alcool bouillant. Par le refroidissement, il se dépose une bouillie blanche formée d'aiguilles microscopiques groupées en sphères ; on la jette sur un filtre, on la lave avec un peu d'alcool, puis on la décompose en y versant la quantité d'acide sulfurique strictement nécessaire pour précipiter la baryte. Le précipité séparé par la filtration, on évapore la liqueur dans le vide, et l'on obtient l'acide sulfophénique à l'état sirupeux.

0,700 de sulfophénate de baryte desséché dans le vide ont perdu à 100° dans le vide 0,0637, et par la calcination ils ont donné 0,297 de sulfate de baryte.

La formule du sel cristallisé est donc

$$(SO^3,\ C^{24}H^{10}O,\ H^2O) + (SO^3,\ BaO) + 3Aq.$$

Les 3 atomes d'eau se dégagent à 100°.

		Calculé.	Trouvé.
$SO^3,\ C^{24}H^{10}O,\ H^2O$	1693	48,56	48,47
$SO^3,\ BaO$	1458	41,81	42,43
$3H^2O$.....	337	9,63	9,10
	3488	100,00	100,00

Le sulfophénate de baryte sec donne, par la calcination de l'hydrate de phényle qui coagule l'albumine, et qui forme une combinaison cristalline avec la potasse.

Le sulfophénate d'ammoniaque est un sel cristallisé en petites paillettes. On l'obtient en saturant l'acide sulfophénique par l'ammoniaque.

1,000 de sulfophénate d'ammoniaque, desséché à 100° dans le vide, a été traité par l'acide nitrique bouillant; après que le dégagement des vapeurs rouges eut cessé, on versa dans la dissolution de l'eau de baryte. Le sulfate recueilli sur un filtre et calciné pesait 1,170, ce qui donne 40,20 d'acide sulfurique sur 100 parties de sel, d'où l'on tire

$C^{24}H^{10}O, H^2O$...	1192	
$2SO^3$.....	1002	39,74
H^8Az^2O.....	327	
	2521	

Dans la dissolution nitrique précédente on versa de l'acide sulfurique en quantité strictement nécessaire pour précipiter l'excès de baryte, puis on la concentra par l'évaporation, afin de chasser une partie de l'acide nitrique. La solution concentrée fut neutralisée par la potasse caustique; il se forma un abondant précipité jaune cristallisé en aiguilles. Douze heures après celui-ci fut jeté sur un filtre, lavé à l'alcool et séché; il pesait $1^{gr},100$. Ce précipité était du picrate de potasse.

Si à 1 atome de sulfophénate d'ammoniaque on ajoute 3 atomes d'acide nitrique, il se forme 1 atome d'acide picrique, 2 atomes d'acide sulfurique, 1 atome d'ammoniaque et 3 atomes d'eau.

$$(C^{24}H^{10}O, H^2O)+2SO^3+H^8Az^2O+3Az^2O^5$$
$$=(C^{24}H^4Az^6O^{13}, H^2O)+2SO^3+H^8Az^2O+3H^2O.$$

D'après cette formule, $1^{gr},00$ de sulfophénate d'ammoniaque aurait dû fournir $1^{gr},33$ de picrate de potasse. L'expérience en a donné 1,10. La perte vient de ce qu'une partie de l'acide picrique a dû être entraînée par l'évaporation de l'acide nitrique, et de ce que le picrate de potasse est un peu soluble.

Acide chlorophénisique.

Pour préparer cet acide, il est inutile d'employer l'hydrate de phényle : on prend l'huile de goudron distillée, telle qu'on la trouve chez les marchands de produits chimiques. Elle peut coûter de 50 à 60 centimes la livre. Elle renferme toutes les matières qui sont plus volatiles que la naphtaline, et de la naphtaline elle-même. On la distille à plusieurs reprises, et l'on met à part l'huile dont le point d'ébullition varie de 170 à 190°. Les dernières portions donnent beaucoup de naphtaline, qu'il est très-facile de purifier à peu de frais. En opérant sur 20 livres d'huile, j'ai obtenu 5 livres de naphtaline. Celle-ci étant souillée par un peu d'huile, on la jette sur un filtre, et on laisse l'huile s'égoutter aussi bien que possible, puis on la distille de nouveau. Par le refroidissement on obtient une masse solide cristallisée en larges écailles; on la concasse dans un mortier, et on la met dans quatre ou cinq entonnoirs, sans papier, que l'on place l'un au-dessus de l'autre. Sur le premier on verse peu à peu de l'alcool qui enlève toute l'huile; par ces lavages successifs j'ai pu obtenir 5 livres de naphtaline parfaitement blanche, en n'employant qu'un litre et demi d'alcool.

Pour préparer l'acide chlorophénisique, on fait passer un courant de chlore dans l'huile, qui bout de 170 à 190°. On pourrait continuer l'action de ce gaz jusqu'à ce que l'on vît l'huile se solidifier. Mais il vaut mieux, après un jour ou deux, suivant la masse sur laquelle on opère, et suivant la vitesse du courant de chlore, distiller l'huile. Cette opération doit être faite dans un lieu d'où l'on ne puisse incommoder les voisins; car l'odeur qui se répand par la distillation est extrêmement forte, tenace, et se fait sentir à de très-grandes distances. Il se dégage beaucoup d'acide chlorhydrique. On rejette les premières et les dernières portions de l'huile qui distille. Dans la cornue il reste une assez

grande quantité de charbon. On fait ensuite passer du chlore dans l'huile distillée, jusqu'à ce qu'elle se prenne en masse pâteuse cristalline. On met celle-ci sur du papier joseph, afin d'absorber l'huile adhérente, et l'on comprime les cristaux.

L'acide chlorophénisique ainsi préparé renferme ordinairement un peu d'huile et une matière cristalline que je nomme provisoirement *chloralbine*. Pour séparer ces matières, on y verse de l'ammoniaque et de l'eau, on porte le tout à l'ébullition, et l'on filtre; le chlorophénisate d'ammoniaque, peu soluble, cristallise par le refroidissement. On le redissout dans l'eau pure, et l'on y verse de l'acide chlorhydrique. Il se forme un volumineux précipité, qu'il suffit de laver et de distiller pour avoir l'acide chlorophénisique parfaitement blanc et pur.

Cet acide a beaucoup d'analogie avec l'acide chlorindoptique, récemment découvert par M. Erdmann, en faisant agir le chlore sur l'indigo. Afin que l'on puisse bien les comparer, je crois devoir rappeler les principales propriétés de l'acide chlorophénisique, ainsi que les nouvelles observations que j'ai faites sur lui. Ce composé est à peine soluble dans l'eau; il est doué d'une odeur très-pénétrante, tenace et caractéristique. Il est soluble en toutes proportions dans l'alcool et dans l'éther. Il cristallise, tant par voie de dissolution que par sublimation, en aiguilles longues soyeuses et de la plus grande finesse. A la température ordinaire, l'acide fondu, renfermé dans un flacon bouché, se hérisse d'aiguilles semblables à une moisissure. Il fond à 44°. Par le refroidissement, on peut l'obtenir en prismes microscopiques, droits, à base rectangulaire. Il bout vers 250°, et distille sans altération.

L'acide nitrique bouillant le convertit en une substance jaune cristallisée en paillettes.

L'acide sulfurique de Nordhausen le dissout très-bien à chaud par le refroidissement; la liqueur se prend en une masse composée d'aiguilles.

Le chlorophénisate d'ammoniaque possède une légère réaction alcaline ; il est cristallisé en aiguilles. Versé dans les sels de cuivre, il forme un précipité rouge-brun. Ce précipité est soluble dans l'alcool bouillant, qui se colore en brun ; par le refroidissement on obtient des aiguilles brunes et brillantes, qui sont des prismes obliques à base rectangulaire.

Le sel ammoniacal donne, avec les sels suivants :

Nitrate d'argent, un précipité jaune-serin.

Chlorure de calcium, un précipité blanc gélatineux : si le chlorure est un peu étendu, il n'y a pas de précipité.

Le chlorure de barium se comporte comme celui de calcium. Si l'on mêle les deux dissolutions concentrées et bouillantes, l'on obtient du chlorophénisate de barium cristallisé en longues aiguilles.

Le chlorure mercurique donne un précipité légèrement jaune ; l'acétate de nickel, un précipité lie-de-vin, soluble dans l'alcool.

J'ai pensé qu'il était nécessaire de déterminer de nouveau la composition de cet acide, parce que mes anciennes analyses donnaient un centième de carbone de plus que l'on n'aurait dû en obtenir, d'après la formule que j'ai adoptée.

I. 0,400 d'acide fondu m'ont donné :
0,540 d'acide carbonique,
0,060 d'eau ;

II. 0,500 d'acide desséché dans le vide, puis distillé, ont donné :
0,665 d'acide carbonique,
0,070 d'eau ;

III. 0,500 d'acide distillé :
0,666 d'acide carbonique,
0,073 d'eau ;

IV. 0,500 décomposés par la chaux au rouge ont fourni

1,070 de chlorure d'argent correspondant à 52,8 de chlore pour 100;

V. 1,000 de chlorophénisate de baryte, desséché dans le vide à 100°, ont laissé par l'acide sulfurique 0,439 de sulfate renfermant 0,2881 de base, ce qui donne pour le poids atomique de l'acide 2364.

Ces nombres conduisent à la formule suivante :

			TROUVÉ.		
		Calculé.	I.	II.	III.
C^{24}.....	917,2	36,93	37,33	36,775	36,83
H^6.....	37,4	1,50	1,66	1,554	1,63
Cl^6.....	1329,0	53,51	52,80	52,800	52,80
O^2.....	200,0	8,06	8,20	8,871	8,74
	2483,6	100,00	100,00	100,000	100,00

qui se représente par $C^{24}H^6Cl^6O+H^2O$.

La composition de l'acide dans le sel de baryte est

C^{24}.....	917,2	38,68
H^6.....	25,0	1,05
Cl^6.....	1329,0	56,05
O.....	100,0	4,22
	2371,2	100,00

0,580 de chlorophénisate d'argent, desséché à 100° dans le vide, ont donné 2737 de chlorure; ce qui fait, pour le poids atomique de l'acide, 2350. Le sel de barium a donné 2364.

0,400 de chlorophénisate d'ammoniaque desséché dans le vide ont donné

0,492 d'acide carbonique et 0,090 d'eau;

0,500 ont fourni par la chaux 1,010 de chlorure d'argent;

0,500 ont donné une quantité d'azote qui correspond à 7,2 p. 100; d'où l'on tire

		Calculé.	Trouvé.
C^{24}.....	917	34,01	34,01
H^{12}.....	75	2,70	2,50
Cl^6.....	1328	49,20	49,83
O^3.....	200	7,53	6,46
Az^2.....	177	6,56	7,20
	2697	100,00	100,00

$H^5 Az^2O$.

form ...ydrate de phényle, en se ...sique, a changé 6 atomes ...hlore.

...$H^4Cl^6O, H^2O) + H^6Cl^6$.

...*énésique.*

Je n'ai pas cherché de nouveau procédé pour obtenir cet acide pur. Je rappellerai simplement qu'il se forme avant l'acide chlorophénisique, et que, sous l'influence du chlore, il se change en ce dernier avec dégagement d'acide chlorhydrique.

Cet acide, qui renfermait un peu du précédent, a donné à l'analyse les nombres suivants :

		Calculé.	Trouvé.
C^{24}....	917	44,7	41,5
H	50	2,5	2,8
Cl^4....	885	43,1	43,0
O^2.....	200	9,7	13,5
	2052	100,0	100,0

Cette différence sur le carbone vient de ce que je n'ai pu le séparer complétement de l'acide chlorophénisique. Sa composition est celle de l'hydrate de phényle dont 4 atomes d'hydrogène ont été remplacés par 4 atomes de chlore.

Par l'action du chlore sur l'indigo, M. Erdmann a obtenu une substance qu'il a nommée chlorindoptène, et qui a la même composition que l'acide chlorophénisique cristallisé.

Elle est un peu soluble dans l'eau bouillante, elle possède une odeur irritante; l'alcool la dissout déjà à froid, cependant en plus grande quantité à chaud. Par la chaleur elle distille en se décomposant en partie, et elle se sublime en aiguilles ou en feuillets blancs.

Par la potasse elle donne naissance à deux corps, la chlorindatmite et l'acide chlorindoptique. Ce dernier possède la composition de l'acide chlorophénisique moins 1 atome d'eau. Sa formule dans les sels est $C^{24}H^{4}Cl^{6}$. Il ressemble beaucoup à l'acide chlorophénisique. Le chlorindoptate de potasse précipite l'azotate d'argent en jaune citrin, et l'acétate de cuivre en pourpre violacé.

Le journal français où se trouve un extrait du Mémoire de M. Erdmann ne donne pas les propriétés de cet acide; on y voit seulement que les acides précipitent du sel de potasse des flocons blancs qui ressemblent au chlorindoptène par leur odeur et leurs réactions.

Je ferai seulement remarquer que l'acide chlorophénisique est entièrement volatil sans décomposition, et que l'alcool le dissout en toutes proportions. Si j'insiste sur ces analogies, c'est parce que l'on a déjà vu que l'acide sulfophénique et l'indigo, traités par l'acide nitrique, donnaient naissance à un même composé, l'acide picrique.

Acide bromophénisique.

Pour préparer cet acide, je me suis servi d'hydrate de phényle et non d'huile de houille, parce qu'il aurait fallu employer trop de brome.

En versant ce dernier sur de l'hydrate de phényle, la température s'élève beaucoup, et elle est accompagnée d'un grand dégagement d'acide bromhydrique.

On ajoute du brome tant qu'il y a effervescence, et vers la fin on chauffe légèrement. Par le refroidissement, on obtient une masse brune que l'on purifie de la manière suivante. On y verse de l'ammoniaque et de l'eau, et l'on

porte le tout à l'ébullition. Par la filtration, l'on se débarrasse d'une petite quantité d'une matière brune, et par l'acide chlorhydrique on décompose la dissolution ammoniacale; il se forme un volumineux précipité d'acide bromophénisique que l'on filtre, lave et distille.

Cet acide, ainsi préparé, est incolore, doué d'une odeur semblable à celle de l'acide chloruré. Il cristallise, soit par fusion, soit par dissolution ou par sublimation, en aiguilles très-déliées. Il ne se sublime pas dans les vases fermés à la température ordinaire. Il est un peu moins soluble dans l'alcool et dans l'éther que l'acide chloruré. Il distille sans altération.

Le sel ammoniacal est cristallisé en aiguilles; versé dans le chlorure de calcium et de barium en dissolutions concentrées, il y forme des précipités cristallisés en aiguilles, mais il ne fait rien dans les dissolutions un peu étendues.

Avec l'azotate d'argent il donne un précipité orange, avec l'acétate un précipité blanc, et avec l'acétate de cuivre un précipité brun-rouge soluble dans l'alcool.

Les bromophénisates donnent un précipité floconneux par les acides, et par la calcination ils laissent ordinairement un résidu de bromure en dégageant de l'acide bromophénisique.

0,400 d'acide séché dans le vide, puis fondu, ont donné
0,327 d'acide carbonique et
0,034 d'eau.
0,500 ont donné par la chaux au rouge et par le nitrate d'argent, 0,850 de bromure renfermant 0,357 de brome; d'où l'on tire

		Calculé.	Trouvé.
C^{24}.....	917,2	22,40	22,55
H^{6}.....	37,5	0,91	0,94
Br^{6}.....	2934,0	71,76	71,40
O.....	200,0	4,93	5,11
	4088,7	100,00	100,00

Il est isomère avec le bromindoptène.

Acide nitrophénésique.

Pour préparer cet acide on emploie l'huile de houille, dont le point d'ébullition peut varier de 160 à 190°. On la verse dans une très-grande capsule de porcelaine, et l'on y ajoute peu à peu de l'acide nitrique ordinaire, environ 12 parties d'acide pour 10 d'huile. L'attaque se fait avec une violence extraordinaire; le boursouflement est considérable, et, ce qui est assez singulier, il est à peine accompagné de quelques vapeurs rouges.

Comme on peut se tromper sur les dimensions de la capsule de porcelaine, il est bon d'en avoir une autre semblable à côté pour y verser une portion de l'huile si celle-ci menaçait de s'extravaser.

La matière s'épaissit et s'échauffe peu à peu. Si l'on a soin d'ajouter l'acide nitrique aussitôt que le boursouflement a cessé, il est inutile de chauffer la capsule vers la fin de l'opération. Lorsque celle-ci est terminée, on verse un peu d'eau sur la matière brun-rougeâtre qui s'est formée, afin d'enlever l'acide nitrique; puis on y ajoute de l'ammoniaque et de l'eau. On porte le tout à l'ébullition, et l'on jette la liqueur sur un grand filtre, afin que la dissolution passe rapidement. Sur le filtre ou dans la capsule il reste une matière brune A très-épaisse qu'il faut mettre à part.

La dissolution ammoniacale, qui est très-brune et qui tache fortement la peau en jaune, laisse déposer une matière solide brune, qui possède à peine l'apparence cristalline. Vingt-quatre heures après on décante l'eau-mère, dans laquelle on verse un acide. Il se forme un précipité brun, mou, résineux, que l'on réunit à la matière A. On redissout dans l'eau bouillante le dépôt brun à peine cristallin; on filtre et on laisse cristalliser. On obtient alors des aiguilles fines, courtes et qui sont encore très-impures. On les dissout et on les fait cristalliser deux fois. A la quatrième

ou cinquième cristallisation, on obtient un sel ammoniacal qui est presque pur.

En opérant sur 1 kil. d'huile, j'ai obtenu 400 gram. de sel.

J'avais reçu la dernière dissolution dans un vase cylindrique de 2 pieds de haut sur 8 à 10 pouces de diamètre. Les cristaux qui s'y sont formés étaient des aiguilles de 1 pied et $\frac{1}{2}$ de longueur, plus fines que des cheveux, et disposées presque verticalement. La partie supérieure était terminée par une couche de 6 lignes d'épaisseur formée par des aiguilles disposées horizontalement, et en rayonnant à partir de l'axe du vase.

Le tout ressemblait à une gerbe de blé recouverte d'un toit de chaume, et du plus bel effet.

Les eaux-mères doivent être réunies et concentrées; elles donnent encore des cristaux.

On jette le sel ammoniacal dans un entonnoir, au fond duquel on a mis un fragment de verre, et on le lave avec de l'eau froide.

Pour avoir l'acide on dissout le sel par portion dans une très-grande quantité d'eau bouillante, puis on y verse de l'acide nitrique et l'on filtre immédiatement sur du papier gris. Il faut que la dissolution passe rapidement, car à peine sa température s'abaisse de quelques degrés que l'acide nitrophénésique, peu soluble, se dépose.

Lorsque la dissolution est froide on la décante, on la porte à l'ébullition, et on y ajoute une nouvelle portion du sel ammoniacal que l'on décompose encore par l'acide nitrique, et ainsi de suite. Par cette filtration on débarrasse l'acide d'une petite quantité d'une matière brune insoluble dans l'eau. Les cristaux qui se sont déposés sont un peu lamelleux, groupés en petites feuilles de fougère, et souillés par une petite quantité d'huile. On sépare celle-ci facilement en faisant dissoudre les cristaux dans l'alcool bouillant; par le refroidissement il se dépose des tables rectangulaires, tandis que l'huile reste dans la dissolution.

Au lieu de décomposer par portions le sel ammoniacal, on pourrait le dissoudre entièrement dans un peu d'eau bouillante et y verser de l'acide nitrique. Après le refroidissement on dissoudrait l'acide dans l'alcool, et on le ferait cristalliser deux ou trois fois.

L'acide nitrophénésique est un produit très-remarquable tant par sa composition que par ses propriétés et la beauté de ses sels. Il est destiné à devenir très-commun dans les laboratoires, et peut-être ne sera-t-on pas longtemps sans lui trouver des applications dans les arts. Il possède les propriétés suivantes :

Sa couleur est plutôt blonde que jaune ; en lames minces il est presque incolore. Son odeur est nulle ; sa saveur, peu prononcée dans le premier instant, devient ensuite très-amère. Il cristallise en prismes droits à base rectangulaire. Les huit arêtes qui appartiennent aux larges faces verticales sont tronquées. Il entre en fusion vers 104°, et par le refroidissement il cristallise en une masse fibro-lamellaire.

En opérant sur quelques décigrammes, on peut le distiller sans le décomposer ; mais si on le chauffe brusquement dans un petit tube, il détone légèrement en produisant une flamme rouge accompagnée d'une fumée noire, et en laissant un résidu de charbon. Chauffé au contact de l'air, il brûle avec flamme rouge fuligineuse, ou bien il détone légèrement.

Il est presque insoluble dans l'eau froide, et un peu soluble dans l'eau bouillante. L'éther et l'alcool le dissolvent très-bien ; ce dernier en dissout à chaud à peu près le quart de son poids.

L'acide chlorhydrique bouillant le dissout un peu, et il le laisse cristalliser en feuilles de fougère.

L'acide sulfurique le dissout très-bien à chaud ; l'eau le précipite de cette dissolution.

L'acide sulfurique de Nordhausen, à l'aide d'une douce

chaleur, le dissout, puis il le décompose avec violence; il se produit un grand dégagement de gaz. En saturant le liquide restant par la baryte, on obtient un sel que je n'ai pas examiné. Si l'on voulait faire des recherches sur ce produit, il faudrait agir sur de petites quantités d'acide nitrophénésique, autrement la liqueur deviendrait brune et épaisse.

Le brome le décompose en donnant naissance à un produit que je me propose d'examiner.

Le chlore ne paraît pas l'attaquer, même à l'aide de la chaleur.

L'acide nitrique bouillant le décompose rapidement, et il se forme un autre acide que je décrirai plus bas.

En présence de l'hydrogène naissant, par l'acide sulfurique et le zinc, il se dissout peu à peu, et la liqueur devient rose. En y versant un excès d'ammoniaque, elle passe au vert sans donner de précipité.

Sous l'influence de la baryte et du sulfate ferreux il donne un sel rouge, probablement formé d'un corps analogue à l'acide nitrohématique.

Il colore très-fortement en jaune la peau, les poils et les tissus en général.

Soumis à l'analyse, il a donné sur

I. 0,400,
0,570 d'acide carbonique,
0,083 d'eau;

II. 0,400
0,567 d'acide carbonique,
0,083 d'eau;

III. 0,400
0,571 d'acide carbonique,
0,081 d'eau;

IV. 0,400 ont fourni $55^{c.c.},5$ d'azote à $0^{m},768$ à 20°; ce qui fait 16 p. 100.

V. 0,400 ont fourni 54$^{c.c.}$ d'azote à 0,765 à 20°; ce qui fait 15,53 p. 100. D'où l'on tire :

		Calculé.	TROUVÉ. I.	II.	III.
C^{24}.....	917,2	39,53	39,402	39,19	39,47
H^{8}.....	50,0	2,15	2,303	2,30	2,25
Az^{4}.....	354,1	15,20	15,770	15,76	15,76
O^{10}.....	1000,0	43,12	42,525	42,75	42,53
	2321,3	100,00	100,000	100,00	100,00

Cette composition peut se représenter par la formule suivante :

$C^{24}H^{8}Az^{4}O^{9} + H^{2}O$,

ou par $C^{24}H^{8}O^{3} + 2Az^{2}O^{3} + H^{2}O$,

ou par $C^{24}H^{8}O(2Az^{2}O^{4}) + H^{2}O$.

Si l'on considère le résultat brut, on voit que l'hydrate de phényle en se transformant en acide nitrophénésique, a changé 2 équivalents d'hydrogène contre 2 équivalents d'acide hypoazotique; résultat semblable à celui que j'ai obtenu avec le naphtalène et l'anthracène.

Nitrophénésates.

Ils sont jaunes ou orangés; presque tous sont solubles dans l'eau et cristallisables. Leurs dissolutions colorent fortement les tissus en jaune. Ils détonent très-légèrement à une température qui est de quelques degrés au-dessous du point de fusion du plomb. Chauffés en vase clos, ils se décomposent en dégageant de la lumière. Les acides nitrique, chlorhydrique et sulfurique en séparent l'acide nitrophénésique. On les prépare directement par l'acide et les oxydes ou leurs carbonates. Celui de plomb peut s'obtenir par double décomposition.

Pour déterminer leur composition je les ai introduits dans un creuset de platine, et je les ai arrosés avec quelques gouttes d'acide sulfurique faible. Après avoir légère-

ment chauffé, j'ai versé sur la masse de l'éther, afin de dissoudre la plus grande partie de l'acide nitrophénésique, puis j'ai calciné le résidu. Sans cette précaution il se fait toujours une détonation ou un très-grand boursouflement, même en chauffant le plus lentement possible. Cela tient à ce que les deux acides sulfurique et nitrophénésique forment une combinaison qui n'est pas volatile, et qui se décompose ordinairement en détonant ou en se boursouflant.

Nitrophénésate de potasse. — Il est jaune, cristallisé en aiguilles brillantes à six pans, dont l'un des angles est de 115°. 1 gramme de ce sel dissous dans 45$^{c.c.}$ d'alcool bouillant a encore donné des cristaux par le refroidissement. Il est peu soluble dans l'eau froide. Lorsqu'on le chauffe légèrement, ils deviennent rouges sans changer de poids. Refroidi, il reprend sa couleur. Chauffé au-dessus de 100°, ses cristaux se brisent, deviennent opaques et perdent de l'eau. Enfin, à une température assez élevée, il fond, puis il détone.

0,700 de sel ont perdu dans le vide à 100°..... 0,028;
0,500 0,019;
0,500 de sel hydraté ont donné 0,186 de sulfate de potasse renfermant 0,100565 de base. La composition de ce sel est donc

$$C^{24}H^{6}O^{9}Az^{4} + KO + Aq.$$

Représentant l'acide nitrophénésique par le symbole nPé, l'on a

		Calculé.	Trouvé.
nPé.....	2208,8	75,87	75,99
KO.....	590,0	20,26	20,11
$H^{2}O$.....	112,5	3,87	3,90
	2911,3	100,00	100,00

Nitrophénésate de soude. — Il cristallise en aiguilles jaunes soyeuses assez solubles.

Nitrophénésate d'ammoniaque. — Il est jaune, peu so-

luble dans l'eau; et moins encore dans l'alcool, cristallisé en aiguilles soyeuses de 1 pied $\frac{1}{2}$ de long.

Nitrophénésate de barium. — Ce sel est un des plus beaux que l'on puisse voir. Sa couleur ressemble à celle du bichromate de potasse, et il cristallise en gros prismes obliques à base hexagone. Les angles que les pans forment entre eux sont de 89° et de 135,30. Si l'on redissout dans l'eau-mère les cristaux rouges qui s'en sont séparés, l'on obtient tantôt de gros prismes rouges, tantôt des aiguilles jaunes. Je ne sais à quoi tient cette différence, car ces deux variétés ont la même composition. Quelquefois, en jetant ces aiguilles sur un filtre, on les voit se transformer en partie en petits prismes rouges.

1,000 de sel ont perdu dans le vide, à la température ordinaire, 0,065;

0,9350 de sel séché dans le vide ont perdu à 100° dans le vide, 0,0892;

0,0458 de sel séché à 100° ont donné, par l'acide sulfurique, du sulfate de barium qui renfermait 0,2562 de base.

Ce qui fait, en centièmes,

		Calculé.	Trouvé.
nPé	2208,8	59,24	58,96
BaO	957,0	25,67	25,62
$3H^2O$	337,0	9,05	8,92
$2H^2O$	225,0	6,04	6,50
	3728,5	100,00	100,00

Le sel cristallisé..... nPé + BaO + 5Aq,
Le sel séché à la température ordinaire..... nPé + BaO + 3Aq,
Le sel séché à 100°..... nPé + BaO.

Nitrophénésate de strontium et de calcium. — En versant une dissolution chaude et concentrée de nitrophénésate d'ammoniaque dans du chlorure de strontium ou de

calcium, on obtient, au bout de quelques secondes, des cristaux soyeux avec le premier, et des petits grains formés d'aiguilles radiées avec le second.

Le sel ammoniacal neutre ne forme pas de précipité dans les sels de cuivre, cadmium, magnésium, manganèse, cobalt, nickel et bioxyde de mercure.

L'alun ne donne un précipité cristallisé en aiguilles que s'il est concentré.

Le nitrate d'argent concentré donne un précipité abondant jaune briqueté. S'il est un peu étendu, le précipité se forme plus tard, et il est cristallisé en aiguilles; enfin en étendant un peu plus la dissolution, il n'y a pas de précipité. Le sel d'argent est soluble dans l'alcool.

Nitrophénésate de cobalt. — Il s'obtient en faisant réagir l'acide sur le carbonate. Il cristallise en prismes droits à base rectangulaire terminée par deux facettes. Il est jaune-brun, et sa dissolution est brune. Lorsque l'on y verse de l'ammoniaque, il se forme un précipité jaune, fusible et fulminant.

Nitrophénésate de cuivre. — Il est jaune, soluble, cristallisé en aiguilles soyeuses; sa dissolution est jaune. En y versant de l'ammoniaque, il se forme un précipité cristallisé en aiguilles jaunes. Si l'on y ajoute un grand excès de cet alcali, le précipité ne paraît pas se dissoudre sensiblement, et la liqueur reste jaune; mais il est soluble dans un excès d'eau.

Nitrophénésate de plomb sesquibasique. — Ce sel s'obtient en versant une dissolution alcoolique et bouillante d'acide nitrophénésique dans une dissolution alcoolique et bouillante d'acétate de plomb médiocrement concentrée. Par le refroidissement, on obtient des aiguilles microscopiques groupées en sphère et d'une belle couleur jaune.

0,600 de ce sel n'ont rien perdu à 100° dans le vide, et ils ont donné 0,400 de sulfate renfermant 0,2942 d'oxyde.

talliser dix fois dans l'éther des quantités égales d'acide picrique et d'acide nitrophénésique, et chaque fois j'ai obtenu des gros cristaux avec ce dernier, tandis que le dernier m'en a toujours donné de très-petits. Cependant ces deux variétés ont exactement la même forme, et leurs angles ont la même valeur.

Suivant M. Liebig, l'acide picrique serait anhydre, et ne renfermerait pas d'hydrogène. D'après M. Dumas, cet acide aurait pour formule

$$C^{24}H^{4}O^{18}Az^{6}.$$

Mes analyses confirment les résultats qui ont été obtenus par M. Dumas.

I. 0,400 ont donné 0,401 d'acide carbonique et 0,055 d'eau;

II. 0,400 ont donné 0,459 d'acide carbonique et 0,053 d'eau;

III. 0,300 ont fourni $48^{c.c.}$ d'azote à 20° et à $0^{m},768$, ou $44^{c.c.},1$ à 0° et à $0^{m},760$. Ce qui fait en centièmes :

			TROUVÉ.	
		Calculé.	I.	II.
C^{24}.....	917,2	31,80	31,86	31,78
H^{4}.....	37,5	1,30	1,52	1,30
Az^{6}.....	531,0	18,40	18,62	18,62
O^{18}.....	1400,0	48,50	48,00	48,30
	2885,7	100,00	100,00	100,00

M. Dumas, dans son Mémoire sur les composés de l'indigo, dit que l'*acide sec* a pour formule $C^{24}H^{4}Az^{6}O^{18}$. Du reste il ne cite aucune analyse (1).

Au premier coup d'œil, j'ai cru que cette phrase signi-

(1) La remarque de M. Laurent se rapporte à la Note publiée *Annales de Chimie et de Physique*, tome XLIII, page 265, et non pas au Mémoire que nous avons publié récemment, 3me série, tome II, page 204, où toutes les analyses se trouvent. (R.)

fiait que l'*acide libre desséché* avait cette formule. Comme je n'étais pas encore sûr que mon acide nitrophénisique fût de l'acide picrique, j'ai voulu m'assurer directement si ces deux corps renfermaient de l'eau. Pour cela, j'ai chauffé, un peu au-dessus de 100°, 1 gramme d'acide nitrophénisique sec avec 5 grammes d'oxyde de plomb finement pulvérisé. Au bout de quelques secondes, j'ai vu ruisseler de l'eau contre les parois du tube dans lequel je faisais cette opération. Après l'avoir porté dans le vide, je trouvai une perte de 0,036. D'après le calcul

$$C^{24}H^{4}Az^{6}O^{13}+H^{2}O,$$

la perte doit être de 3,88 pour 100; j'ai obtenu 3,60.

J'ai voulu répéter la même opération avec l'acide picrique. Je vis d'abord un peu d'eau ruisseler dans le tube, mais au moment où je le portais sous le récipient de la machine pneumatique, il se fit une détonation aussi forte que celle d'un coup de fusil. Je renonçai à répéter cette expérience par suite de l'accident qui m'arriva dans cette circonstance. Il ne faudrait cependant pas conclure de cette détonation, que l'acide picrique et l'acide nitrophénésique sont deux corps différents; car dans une expérience préliminaire, je m'étais assuré que, en combinant de l'acide nitrophénisique avec de l'oxyde de plomb à 250 ou 300°, il se produisait une détonation; et si avec l'acide picrique il s'en est fait une à une température plus basse, je l'attribue à ce que j'avais pulvérisé d'abord ensemble l'acide et l'oxyde avant de les chauffer, et à ce que la combinaison s'étant faite plus rapidement, la température a dû s'élever, tandis qu'avec l'acide nitrophénésique le mélange n'avait été fait dans le tube à dessécher qu'à l'aide d'un fil de platine.

La formation de l'acide picrique, à l'aide de l'hydrate de phényle, s'explique parfaitement, et l'on voit que 3 équivalents d'hydrogène ont été remplacés par 3 équiva-

lents d'acide hypoazotique, résultat semblable à celui que j'ai obtenu avec la nitronaphtalise

$$(C^{24}H^{10}O+H^2O)+3Az^2O^5=(C^{24}H^4Az^6O^{13}+H^2O)+3H^2O.$$

Picrate de potasse. — Ce sel cristallise en prismes droits à base rhombe, dont les angles sont de 110,40 et de 69,10. Les quatre arêtes verticales sont ordinairement tronquées, et la base est remplacée par deux facettes qui se coupent sous un angle de 139°.

0,500 n'ont rien perdu à une haute température. La couleur du sel est devenu rouge-orange; mais par le refroidissement il a repris sa couleur jaune.

Par l'acide sulfurique, on a obtenu 0,161 de sulfate renfermant 0,087053 de base. Ce qui fait, en centièmes,

		Calculé.	Trouvé.
nPi.....	2773	82,49	82,59
KO.....	590	17,51	17,41
	3363	100,00	100,00

Les picrates, comme les nitrophénésates, ne détonent que vers le point de fusion du plomb, et beaucoup plus fortement que ces derniers.

Il faut également, pour déterminer leur poids atomique, prendre les mêmes précautions qu'avec les nitrophénésates, car l'acide picrique donne aussi avec l'acide sulfurique une combinaison et un dégagement de gaz.

Picrate de barium. — Il est cristallisé en prisme oblique à base rectangulaire.

0,500 perdent dans le vide sec 0,050, et à 150°, 0,078. Ils donnent 0,165 de sulfate renfermant 0,1082 de base. Ce qui fait, en centièmes,

		Calculé.	Trouvé.
nPi.....	2773	62,92	62,74
BaO.....	956	21,70	21,66
$2H^2O$....	225	5,12	5,60
$4H^2O$....	450	10,22	10,00
	4404	100,00	100,00

hydre..... nPi + BaO,
ésséché dans le vide. nPi + BaO + 2Aq,
istallisé..... nPi + BaO + 6Aq.

l'argent. — 0,500 perdent dans le vide à 100°,

sel séché à 100° donnent 0,211 de chlorure
espondant à 0,170705 d'oxyde. Ce qui fait 34,14
parties de sel hydraté.

		Calculé.	Trouvé.
nPi....	2773	63,83	64,41
AgO...	1451	33,69	33,39
H^2O...	112	4,58	2,20
	4336	100,00	100,00

Picrate de plomb sesquibasique. — En versant du picrate d'ammoniaque bouillant dans une dissolution étendue et bouillante d'acétate de plomb, on obtient un mélange de deux sels : l'un jaune foncé en petits cristaux, qui se dépose le premier; et l'autre, jaune clair, brillant, cristallisé en lamelles allongées, et qui se dépose plus tard. On peut encore séparer ce dernier par l'agitation avec de l'eau et par la décantation. Sa forme est celle d'un prisme oblique à base rectangulaire; il détone par le choc.

0,500 perdent à 100° dans le vide 0,018 et donnent par l'acide sulfurique 0,286 de sulfate renfermant 0,2104 d'oxyde. Ce qui fait, en centièmes,

		Calculé.	Trouvé.
2nPi....	5546	55,10	54,2
3PbO...	4182	41,56	42,8
$3H^2O$...	337	3,34	3,6
	10065	100,00	

Picrate de plomb bibasique. — C'est le sel jaune foncé qui est mêlé avec le précédent. Examiné au microscope, il

présente de petites tables qui sont des rhombes ou des parallélogrammes obliquangles. Il détone beaucoup plus fortement que le précédent par le choc.

Je n'ai pas obtenu ce sel parfaitement pur; au microscope, l'on y distinguait quelques cristaux de picrate sesquibasique; de là la différence que l'on trouve entre les résultats du calcul et de l'expérience.

0,500 perdent 0,008 à 100° dans le vide, et donnent 0,330 de sulfate renfermant 0,22535 d'oxyde.

		Calculé.	Trouvé.
nPi.....	2773	49,0	53,33
2PbO...	2788	49,1	45,07
H^2O....	112	1,9	1,60
	5673	100,0	100,00

Picrate de plomb 5 *basique.* — Ce sel s'obtient en versant du picrate d'ammoniaque avec excès de base dans une dissolution bouillante et étendue d'acétate de plomb. Il est pulvérulent, jaune foncé, semblable au précédent. Au microscope il m'a présenté des tables rectangulaires, mais mêlées avec quelques cristaux de picrate bibasique; ce qui explique la différence que l'on trouve entre le calcul et l'expérience.

0,300 ont donné 0,306 de sulfate renfermant 0,209 d'oxyde.

		Calculé.	Trouvé.
nPi.....	2773	28,5	30,34
5PbO...	6970	71,5	69,66
	9743	100,0	100,00

En versant du picrate d'ammoniaque dans du sous-acétate de plomb, il se forme un précipité jaune floconneux qui détone avec violence par le choc.

En résumé, le phényle donne la série suivante :

Phényle..... $C^{24}H^{10}O$,
Hydrate de phényle. $C^{24}H^{10}O + H^2O$,

Phénylate de potass.	$C^{24}H^{10}O$	+ KO,	
Acide sulfophénique.	$C^{24}H^{10}O$	+ H^2O +	$2SO^3$,
Acide chlorophénés.	$C^{24}H^6Cl^4O$	+ H^2O,	
Acide chlorophénis..	$C^{24}H^4Cl^6O$	+ H^2O,	
Acide bromophénés.	$C^{24}H^4Br^6O$	+ H^2O,	
Acide nitrophénésiq.	$C^{24}H^6(2A^2O^4)O$	+ H^2O,	
Acide nitrophénisiq.	$C^{24}H^4(3A^2O^4)O$	+ H^2O.	

Dans un prochain Mémoire, je crois pouvoir donner un caractère certain pour reconnaître dans quel état le chlore, le brome et l'azote se trouvent dans ces combinaisons.

Recherches sur la graisse solide du beurre de muscade;

PAR M. LYON PLAYFAIR.

Le beurre de muscade est l'huile solide qu'on obtient en exprimant les noix du *Myristica moschata*. Schrader a fait voir que cette substance se compose de deux graisses solides et d'une huile fluide; toutefois ces corps gras n'ont été examinés jusqu'à présent que par MM. Pelouze et Boudet. D'après leurs recherches, ce beurre serait pour la plus grande partie formé de *margarine;* comme ils n'ont publié à cet égard aucune donnée analytique, il est à présumer qu'ils n'ont pas donné suite à leurs recherches.

Lorsqu'on fait digérer le beurre de muscade avec de l'alcool ordinaire, deux des graisses qui le constituent s'y dissolvent, tandis que la troisième y demeure insoluble. Cette dernière constitue la moyenne partie du beurre, c'est elle qui fait l'objet de ce Mémoire.

Cette graisse ainsi obtenue est encore impure, et présente à un haut degré l'odeur du beurre de muscade. A l'aide

de dissolutions dans l'éther, et d'expressions entre des doubles de papier joseph, on obtient une substance dont le point de fusion demeure constant, et se trouve placé à 31°.

Ainsi préparée, cette substance est la combinaison d'un acide gras, différent, de ceux qui sont déjà connus, avec l'oxyde de glycéryle. Je propose de lui donner le nom de *myristine*, et à l'acide celui d'acide *myristique*.

Acide myristique hydraté. — Lorsqu'on fait bouillir une dissolution concentrée de potasse avec de la myristine, celle-ci se saponifie sans former une masse épaisse et visqueuse.

Si l'on dissout le savon formé dans l'eau, et qu'on ajoute un excès d'acide chlorhydrique à la dissolution bouillante, l'acide myristique se sépare à l'état d'une huile incolore qui se concrète par le refroidissement en prenant une texture cristalline. On le traite ensuite à plusieurs reprises par de l'eau distillée bouillante, afin d'enlever l'acide chlorhydrique qui pourrait y adhérer.

Ainsi préparé, l'acide myristique est d'un blanc de neige cristallin fort soluble dans l'alcool bouillant, et s'en précipitant en partie par le refroidissement. Il est peu soluble dans l'éther froid, très-soluble au contraire dans l'éther bouillant. Il est entièrement insoluble dans l'eau. La dissolution alcoolique l'abandonne en cristaux qui possèdent l'éclat soyeux. Il fond à 49°.

A l'état anhydre tel qu'on le rencontre dans les sels, cet acide possède la composition suivante :

$$C^{56}H^{54}O^{3}.$$

J'ai soumis l'acide hydraté préparé par la méthode que je viens de décrire à l'analyse : j'ai obtenu des nombres qui s'accordent avec la formule

$$C^{56}H^{56}O^{4}.$$

L'hydrate renferme donc 1 atome d'eau qui, dans les sels, est remplacé par 1 atome d'oxyde métallique.

ition de l'acide myristique présente de l'analo-
de l'acide œnanthique ; en effet, on peut con-
mier comme de l'acide œnanthique dans lequel
d'oxygène est remplacé par 1 équivalent d'hy-
drogène :

2 atomes d'acide œnanthique..... $C^{56}H^{52}O^{4}$
1 atome d'acide myristique..... $C^{56}H^{54}O^{3}$.

myristique diffère 1 seulement de l'acide mar-
a composition, mais encore par d'autres carac-
tères. le point de fusion, a solubilité dans l'alcool,
ière dont les sels neutres de potasse et de soude se
t avec l'eau, diffèrent complétement. L'acide ni-
t de concentration ordinaire décompose l'acide my-
ri ue avec dégagement de vapeurs rutilantes. Il paraît toutefois que les produits de décomposition sont solubles, du moins la partie grasse restée après la décomposition possédait la composition et les propriétés de l'acide myristique.

Cet acide se décompose en partie par la distillation, et passe en partie sans être altéré. On ne rencontre pas d'acide sébacique dans les produits de la distillation.

Myristine. — C'est la substance qui constitue la partie solide du beurre de muscade. Elle est cristalline, possède un éclat soyeux, et se dissout en toutes proportions dans l'éther bouillant; elle est moins soluble dans l'alcool bouillant, entièrement insoluble dans l'eau; elle fond à 31°.

Afin de voir à quelle base l'acide myristique est uni dans la myristine, j'ai suivi le procédé indiqué par M. Liebig pour la préparation de la glycérine. Je me suis assuré que la myristine est en effet une combinaison de cette substance avec l'acide myristique.

Soumise à l'analyse, la myristine m'a donné des résultats qui s'accordent avec la formule

$$C^{236}H^{226}O^{15}\ (*).$$

(*) C = 37,5, H = 6,25.

La myristine contiendrait d'après cela :

4 atomes d'acide myristique.....	$C^{224}H^{216}O^{12}$
2 atomes de glycérine.....	$C^{12}\ H^{8}\ O^{9}$
1 atome d'eau.....	$H^{2}\ O$
1 atome de myristine.....	$C^{236}H^{226}O^{15}$

La quantité d'hydrogène que j'ai trouvée par expérience est plus faible que celle que donne le calcul, ce qui peut provenir d'un peu d'éther qui adhère fortement à la substance.

Par la distillation sèche, la myristine donne de l'acroléine et un acide gras.

Éther myristique. — Ce composé s'obtient, comme tous les éthers de cette espèce, en faisant passer un courant de gaz chlorhydrique dans une dissolution alcoolique d'acide myristique. Il vient alors surnager à l'état d'une huile incolore. Lavé soit à l'eau distillée pure, soit au moyen d'une dissolution étendue de carbonate de soude, cet éther peut être amené à l'état de pureté. Pour l'avoir anhydre, on l'abandonne pendant quelque temps sur du chlorure de calcium.

Ainsi préparé, l'éther myristique forme un liquide huileux, transparent, incolore ou légèrement jaunâtre; sa densité est de 0,864. Il est soluble à chaud dans l'alcool et l'éther, et se décompose entièrement quand on le fait bouillir dans une dissolution alcoolique de potasse.

L'analyse de ce composé s'accorde avec la formule

$$C^{120}H^{120}O^{8}.$$

Or nous avons vu que, d'après les recherches de M. Redtenbacher, l'éther stéarique renferme de l'eau; or l'éther myristique présente la même particularité : en effet, la formule précédente peut se décomposer ainsi

2 atomes d'acide myristique.....	$C^{112}H^{108}O^{6}$
1 atome d'oxyde d'éthyle.....	$C^{8}\ H^{10}\ O$
1 atome d'eau.....	$H^{2}\ O$
1 atome d'éther myristique.....	$C^{120}H^{120}O^{8}$

Myristate de potasse. — Ce sel s'obtient en chauffant de l'acide myristique avec une dissolution concentrée de carbonate de potasse. On évapore la dissolution à siccité, et l'on extrait le myristate alcalin à l'aide de l'alcool absolu.

Le myristate de potasse forme un savon blanc, cristallin, très-soluble dans l'eau et l'alcool, insoluble dans l'éther. Il peut servir à la préparation de plusieurs autres myristates par double décomposition.

L'analyse de ce sel conduit à la formule

$$C^{56}H^{54}O^{3}, KO.$$

D'après cela le sel analysé est un sel neutre, et renferme 1 atome de base pour 1 atome d'acide.

Myristate de baryte. — Ce sel s'obtient par double décomposition au moyen du myristate de potasse. C'est une matière blanche très-peu soluble dans l'eau et l'alcool.

La composition de ce sel est représentée par

$$C^{56}H^{54}O^{3}, BaO.$$

C'est donc encore un sel neutre comme le myristate de potasse.

Myristate d'argent. — Ce sel s'obtient aussi par double décomposition, au moyen du myristate de potasse et du nitrate d'argent. C'est une poudre blanche et légère qui se colore bientôt à la lumière; elle est insoluble dans l'eau, fort soluble dans l'ammoniaque, et cristallise par l'évaporation spontanée de ce liquide en gros cristaux transparents.

La formule qui s'accorde le mieux avec les résultats de l'analyse est la suivante :

$$C^{112}H^{110}O^{7}, 2AgO.$$

Il faudrait donc admettre que ce sel contient de l'eau, ce qui ne serait pas impossible, puisque M. Crasso a fait voir que les sels d'argent n'en sont pas toujours exempts.

La formule du sel d'argent serait, d'après cela,

$$2(C^{56}H^{54}O^{3}, AgO) + H^{2}O.$$

Myristate de plomb. — Ce sel fut préparé au moyen de l'acétate de plomb basique. C'est une poudre blanche, pesante et insoluble. Les nombres qu'on obtient de l'analyse de ce sel conduisent à la formule :

$$C^{222}H^{222}O^{15}, 7PbO.$$

D'où l'on déduit la formule rationnelle suivante :

¼ at. de myristate de plomb neutre...	$C^{224}H^{216}O^{12}, 4PbO$
1 at. d'acétate de plomb tribasique...	$C^{8}\ H^{6}\ O^{3}, 3PbO$
1 at. de la combinaison plombique...	$C^{232}H^{222}O^{15}, 7PbO$

Le sel de plomb obtenu en précipitant une dissolution de myristate de potasse par l'acétate neutre de plomb a été également soumis à l'analyse, mais on n'a pas obtenu de résultats constants.

On obtient le myristate de cuivre en précipitant le myristate de potasse par le sulfate de cuivre. C'est une poudre vert pâle insoluble dans l'eau, et renfermant de l'eau en combinaison. Les autres myristates se préparent d'une manière analogue.

J'ajouterai en terminant quelques autres faits relatifs au beurre de muscade, et qui me semblent intéressants.

J'ai déjà dit plus haut que ce beurre était formé de trois graisses. Lorsqu'on distille avec de l'eau la seconde graisse solide, celle qui était restée en dissolution dans l'alcool, il passe une huile volatile d'une odeur agréable, qui paraît être celle qui a été décrite par John, Lewis et autres; mais si l'on distille la graisse sans eau, la même huile passe au commencement de l'opération, puis bientôt après elle se trouve accompagnée par un corps blanc cristallin qui présente tous les caractères de la paraffine.

Il reste dans la cornue une masse noire, que les alcalis

ion[illegible] aisément à chaud. Le savon noir ainsi produit se dissout dans l'eau et l'alcool, et communique à celui-ci une teinte noire. Si l'on décompose ce savon par l'acide chlorhydrique, il s'en sépare une substance noire et huileuse qui, par le refroidissement, se prend en une masse analogue à l'ulmine. C'est un mélange de deux graisses, l'une blanche et l'autre noire. On peut les séparer en dissolvant le mélange dans l'alcool [illegible]ble, et abandonnant à l'évaporation spontanée. La graisse noire se dépose la première; elle est peu soluble dans l'alcool, et se dissout au contraire très-bien dans l'éther, d'où elle se dépose par le refroidissement. Elle se combine avec différentes bases. La dissolution n'est point décolorée lorsqu'on la traite à chaud par le charbon. Ni la graisse blanche ni la graisse noire ne possèdent de texture cristalline: c'est ce qui m'a empêché de les étudier, ces matières n'offrant pas une suffisante garantie de pureté.

MÉMOIRE

Sur un appareil à air comprimé, pour le percement des puits de mines et autres travaux, sous les eaux et dans les sables submergés;

PAR M. TRIGER,
Ingénieur civil.

Depuis Doué, département de Maine-et-Loire, jusqu'à Niort, département de la Loire-Inférieure, s'étend un terrain houiller bien connu des exploitants et des géologues. Dès 1811, M. Cordier en a fait l'objet d'un Mémoire, et plus tard MM. Élie de Baumont et Dufrénoy ont également étudié ce terrain et l'ont tracé sur la carte géologique de France.

La Loire, en creusant son lit dans cette contrée, a suivi

une direction qui coupe celle de ce terrain sous un angle très-aigu, et l'a recouvert, comme elle le couvre encore tous les jours, d'alluvions considérables, entre les villes de Rochefort et d'Ingrandes. Sous ce dépôt, qui n'atteint pas moins de 18 à 20 mètres d'épaisseur, repose aujourd'hui le terrain houiller. C'est pour rendre son extraction possible qu'on a employé l'appareil dont nous allons faire connaître les résultats.

De nombreux sondages ont démontré que ces alluvions étaient composées de quelques bancs d'argile intercalés entre de puissantes couches de sables mouvants et de galets. Dans ces dernières, on reconnaît facilement les débris d'une foule de roches amenées par les différents affluents de la Loire. On y remarque des roches volcaniques, des granits et surtout de nombreux silex appartenant à la craie. La disposition de ce dépôt, dans lequel les sables grossiers et les galets occupent constamment la partie inférieure, semble annoncer que la cause à laquelle ces alluvions doivent leur origine a été évidemment beaucoup plus active dans le principe qu'elle ne l'est aujourd'hui.

En effet, on voit les sables fins des alluvions actuelles passer peu à peu à des sables plus grossiers, ensuite à des galets, puis enfin à des blocs erratiques qui, par suite du frottement, ont tous pris une forme presque sphérique.

Nos sondages ont démontré un autre fait également remarquable : c'est que lors du creusement de la vallée de la Loire, les roches, quelle que fût leur nature et leur dureté, ont été rasées suivant un même niveau, et avec une régularité telle, que l'on peut considérer que le terrain sur lequel reposent les alluvions offre une surface presque aussi plane que celle des alluvions elles-mêmes. Cependant ce terrain est composé d'une alternance de roches si peu homogènes et si différentes quant à la dureté, qu'on a peine à s'expliquer un pareil phénomène.

Comment en effet ces courants rapides, auxquels on at-

tribue généralement le creusement des vallées, auxquels n'ont pu résister ni les grès houillers ni les poudingues, ni même ces roches feldspathiques, vulgairement appelées pierre carrée; comment à côté de roches si dures ces mêmes courants n'ont-ils pas sillonné à plusieurs mètres de profondeur les veines de charbon et les schistes tendres qui les accompagnent? Ils ne l'ont point fait cependant, nous en sommes certains d'après les nombreux sondages que nous avons exécutés. Nous avons même reconnu que partout le terrain solide offrait une table absolument rase, malgré le peu d'homogénéité de ses principes constituants.

Je laisse aux savants le soin de rechercher la véritable cause de ce phénomène, que je ne puis attribuer à la rapidité des courants. Je me borne à le signaler comme un fait constant pour toute la vallée de la Loire, depuis Angers jusqu'à Nantes.

L'étude approfondie que nous avons faite de ce terrain, nous ayant démontré qu'il fallait traverser 18 à 20 mètres de sables mouvants avant d'atteindre le terrain houiller, nous avons dû, pour vaincre une pareille difficulté, songer à des moyens autres que ceux généralement employés dans les mines. Cette difficulté avait été considérée par tous les exploitants de la contrée comme tellement insurmontable, que toute la portion du bassin houiller qui s'étend sous les alluvions de la Loire, quoique bien connue depuis des siècles, était restée intacte. En effet, vouloir au moyen des épuisements ordinaires pénétrer dans ces sables, d'autant plus mouvants qu'ils sont en communication directe avec les eaux de la Loire, c'était vouloir établir un puits dans cette rivière, c'était vouloir épuiser le fleuve lui-même. Ne pouvant donc songer à extraire les eaux, nous eûmes l'idée de les refouler. Le succès a pleinement couronné notre attente, au moyen de l'appareil suivant.

Description de l'appareil. — Nous nous sommes procuré un tube en tôle de fer, de 12 millimètres d'épaisseur et de

1^{m},033 de diamètre intérieur. Ce tube, d'une longueur de 20 mètres, a été construit à Paris, et nous a été adressé par bouts de 5 à 6 mètres de longueur : ces bouts de tubes, après avoir été réunis, ont été successivement enfoncés dans les sables, au moyen d'un mouton, comme dans les sondages pour les puits artésiens. Les sables en ont été extraits au moyen d'une soupape à boulet, de sorte qu'on peut considérer l'enfoncement de ce tube, qui repose sur le solide à la profondeur de 19 mètres, comme un sondage d'une espèce toute nouvelle, à raison de son diamètre.

Rien d'extraordinaire ne s'est manifesté pendant l'enfoncement de ce tube, si ce n'est la rapidité avec laquelle a augmenté la résistance dès qu'il a quitté les sables ordinaires pour entrer dans des sables plus grossiers. Ce tube, qui, jusqu'à la profondeur de 12 à 15 mètres, avait pénétré avec facilité dans le sable ordinaire, a éprouvé depuis 17 mètres jusqu'à 19 dans les gros sables, une résistance telle, que deux cents coups de mouton du poids de 2000 kilogrammes, tombant de 1^{m},50 environ de hauteur, suffisaient à peine pour l'enfoncer de quelques centimètres; tandis que, peu de temps auparavant, une pareille manœuvre l'enfonçait au moins de 1 mètre. De sorte que les deux derniers mètres ont exigé un travail et un temps au moins deux fois aussi long que tout le reste de l'opération; d'où je conclus que jamais on ne serait arrivé au même résultat par le dégagement successif des sables et la simple pression, comme cela se pratique généralement en Angleterre, où le terrain sans doute est d'un toute autre nature, et loin de présenter les mêmes difficultés.

Je passe maintenant à l'appareil à air comprimé.

Cet appareil se compose d'une machine à vapeur, de deux pompes à comprimer l'air, et d'un sas à air.

Je ferai remarquer que notre machine à vapeur n'était nullement appropriée à l'usage auquel nous l'avons fait servir, et que des considérations toutes particulières nous

en ont nécessité l'emploi. Quant aux pompes, nous aurons occasion d'en parler plus tard, voulant d'abord décrire le sas à air.

Ce sas se compose :

1°. D'un presse-étoupe fixé à sa partie inférieure, et destiné à la réunir avec le puits en fer, assez intimement pour qu'il ne puisse exister aucune communication entre l'air atmosphérique et l'intérieur de ce puits ;

2°. De deux tuyaux dont l'un est destiné à l'introduction de l'air comprimé dans le puits, et l'autre a pour usage de faciliter la sortie de l'eau lorsque, par suite de la compression de l'air, cette eau est forcée de sortir avec plus de vitesse que ne le permettent les ouvertures qui peuvent exister au bas du puits, au contact imparfait du tube avec le terrain solide ;

3°. De deux soupapes, trou d'homme, destinées à la manœuvre du sas pour l'introduction des ouvriers et l'extraction des déblais ;

4°. Enfin des deux robinets destinés au même usage, ainsi que d'un manomètre et d'une soupape de sûreté pour prévenir les accidents.

Jeu de l'appareil. — Il est facile, d'après cela, de se faire une idée exacte de la manœuvre de cet appareil.

Que l'on suppose en effet la machine à vapeur en activité. Des pompes injecteront dans le puits, au-dessous du sas à air, de l'air qui devra nécessairement se comprimer, puisqu'il n'existe aucune communication entre cette partie du puits et l'air atmosphérique. Si le puits est rempli d'eau, cette eau, cédant alors à la pression de l'air, s'échappera par le tuyau ci-dessus indiqué, de sorte qu'au bout d'un certain temps toute celle renfermée dans le puits se trouvera remplacée par de l'air comprimé ; et si la manœuvre continue, ce puits se trouvera constamment à sec.

Quant à l'introduction des ouvriers dans le puits, elle se fait au moyen du sas à air. Supposons pour un instant

la soupape fermée, et l'air comprimé dans le puits à la pression de deux ou trois atmosphères. La soupape supérieure étant ouverte, les ouvriers pourront descendre dans le sas à air, puis fermer au-dessus de leur tête cette soupape et ouvrir en même temps le robinet inférieur pour se mettre en communication avec l'air comprimé du puits. A l'instant même, la soupape supérieure se trouvera collée contre ses parois, et dès que l'équilibre se sera établi entre la tension de l'air du puits et du sas à air, la soupape inférieure s'ouvrira d'elle-même par son propre poids, et les ouvriers pourront alors s'introduire dans le puits. Pour en sortir il suffira de faire une manœuvre pareille en sens inverse, c'est-à-dire de fermer la soupape inférieure et d'ouvrir le robinet de la partie supérieure, pour se mettre de suite en communication directe avec l'air atmosphérique. La tension de l'air diminuant alors au-dessous de la soupape supérieure, cette soupape s'ouvrira encore d'elle-même et les ouvriers pourront sortir et faire enlever leurs déblais.

Tel est l'appareil que nous avons conçu pour traverser les sables mouvants qui composent les alluvions de la Loire. Le principe était juste; l'application devait avoir des résultats certains. Mais il restait encore une chose à bien constater, c'était la possibilité de vivre sous une pression de trois à quatre atmosphères.

Ayant consulté à cet égard M. de Las Cases, avec lequel je m'étais réuni pour faire des travaux de recherche de charbon sous les alluvions de la Loire, il fut décidé qu'on ne soumettrait les ouvriers à l'action de l'air comprimé qu'après s'être bien assuré de ses effets sur nous-mêmes. Nous nous rendîmes donc à cet effet chez un médecin de Paris qui faisait respirer de l'air comprimé pour le traitement de certaines maladies, et trouvâmes chez lui un appareil semblable à celui de M. Tabarié (de Montpellier), dans lequel, huit mois auparavant, M. de Las Cases avait

déjà supporté une pression de trois quarts d'atmosphère en sus de la pression atmosphérique.

L'appareil dans lequel nous devions faire un nouvel essai portait un manomètre à air libre et pouvait à peine supporter une pression de deux atmosphères. De nombreuses fuites, qui résultaient de la mauvaise disposition de l'appareil, ne nous permirent pas, malgré deux heures d'expériences, de faire monter le mercure à plus de 22 pouces. Nous ne fûmes donc soumis, cette première fois, qu'à la pression d'une atmosphère trois quarts, et notre but ne fut pas atteint, puisqu'il s'agissait de bien connaître les effets de l'air comprimé à la pression de trois atmosphères au moins.

Ayant obtenu que l'on fît quelques réparations pour le lendemain, nous pûmes alors recommencer nos expériences; mais pour mieux surveiller le conducteur de la machine, cette fois M. de Las Cases resta hors de l'appareil pour être plus sûr de la pression à laquelle un de ses parents et moi allions être soumis.

La machine fonctionnait depuis trois quarts d'heure environ, et le mercure s'élevait à peine dans le manomètre à la hauteur de 40 pouces, lorsque tout à coup une détonation, que l'on peut comparer à celle d'une pièce de quatre, se fit entendre, et à l'instant même le parent de M. de Las Cases et moi nous nous trouvâmes saisis d'un froid glacial et plongés dans l'obscurité la plus complète, par suite de la production instantanée d'un épais brouillard : une vitre de l'appareil avait crevé.

J'appris de M. de Las Cases qu'une petite glace de 6 lignes d'épaisseur et d'environ 6 pouces de diamètre, destinée à éclairer l'intérieur de l'appareil, s'était brisée; que les fragments en avaient été projetés avec violence et que plusieurs étaient passés près de lui après avoir criblé de trous un large rideau de toile destiné à garantir la machine des rayons du soleil.

De nombreuses personnes, attirées par le bruit de l'explosion, s'empressaient de ramasser des éclats de verre qui avaient été lancés à plus de 100 mètres; une d'entre elles rapporta, à notre grand étonnement, un morceau de feutre que l'on reconnut provenir de mon chapeau. Il avait en effet servi de projectile, et nous en retrouvâmes successivement tous les débris.

Au reste, la rupture et l'explosion de l'appareil, dont nous ne nous rendîmes pas compte dans le premier moment, n'eut d'autre résultat que de nous occasionner une grande surprise.

Notre expérience fut donc encore manquée, car nous étions loin de trois atmosphères. Fatigué de ces contretemps, et de plusieurs autres inutiles à rapporter ici, je ne songeai plus à faire d'expériences qu'au moyen de mon propre appareil.

J'ai déjà dit que la machine à vapeur à notre disposition n'était nullement appropriée à l'usage qu'on en voulait faire. Dans l'intérêt de la science, je dois dire aussi deux mots de nos pompes à comprimer l'air, dont la confection a présenté, dans le principe, de grandes difficultés, et a retardé pendant longtemps la marche de notre opération.

On dira sans doute que les pompes de compression ne sont cependant pas nouvelles, qu'il en existe pour la fabrication des eaux gazeuses, pour les souffleries des hauts-fourneaux, etc. Je répondrai que, malgré cela, j'ai éprouvé les plus grandes difficultés pour obtenir de bonnes pompes à comprimer l'air, quoique j'eusse employé à leur confection les mécaniciens constructeurs qui sont le plus en réputation dans la capitale.

Il me fallait une grande masse d'air à haute pression, et des pompes susceptibles d'un travail continu de plusieurs mois; c'était une condition indispensable, et c'est ce que je n'ai pu obtenir avec les pompes à clapets en cuivre que j'avais d'abord fait exécuter.

Lorsqu'il s'agit d'élever de l'eau, les pompes à clapets dont je viens de parler donnent les meilleurs résultats; mais c'est à tort qu'on en attendrait les mêmes résultats pour la compression de l'air.

En effet, l'eau est un corps à peu près incompressible, tandis que l'air est un corps essentiellement élastique. Lorsqu'il s'agit d'élever de l'eau, il résulte de son incompressibilité que dès que le piston exerce sa pression sur le liquide, toute sa puissance est au même instant communiquée aux soupapes par l'intermédiaire de ce liquide. Cette puissance est donc exercée aussi bien que possible, et les bons résultats qu'on en obtient n'en sont que la conséquence. Lorsqu'au contraire il s'agit de comprimer de l'air, les choses se passent tout autrement.

Si le jeu de la machine est actif, si les soupapes ont un certain poids, ce qui devient indispensable pour de fortes pompes, il en résulte que le piston, qui n'éprouve d'abord qu'une résistance presque nulle par suite de l'élasticité de l'air, prend instantanément une très-grande vitesse, tandis que la soupape, au contraire, par suite de son poids, offre une force d'inertie qui ne se trouve vaincue que lorsque l'air a été comprimé beaucoup au-dessus de la pression nécessaire. De là une marche inégale, des secousses, et la destruction des clapets; de là enfin une mauvaise machine, surtout lorsqu'il s'agit d'obtenir un travail continu et prolongé.

Tel a été le sérieux inconvénient qui pendant longtemps a retardé la marche de nos travaux, et qui m'a enfin conduit à trouver une bonne disposition de soupapes pour les pompes à comprimer l'air.

Cette disposition consiste tout simplement à remplacer les clapets en cuivre par des soupapes en cuir. Ces soupapes, beaucoup plus simples et beaucoup plus légères, n'ont aucun des inconvénients signalés ci-dessus, et cette disposition n'est pas autre que celle du soufflet ordinaire, que j'ai imitée autant que possible dans la confection des nouvelles pompes

dont j'ai obtenu les meilleurs résultats. Ces pompes consistent dans un cylindre alésé qui repose sur un plateau en fonte, percé de deux séries de trous. Ces trous sont disposés comme dans les soufflets les plus communs, recouverts par des soupapes en cuir retenues par des brides également en cuir.

La soupape destinée à l'aspiration se trouve placée à l'intérieur du cylindre, tandis que l'autre est en dehors sur le même plateau. Le piston des pompes est plein, et peut être recouvert constamment d'une couche d'eau pour en faciliter le mouvement. J'ajouterai même que l'expérience m'a prouvé que l'eau produisait un meilleur effet que l'huile en pareil cas.

Telle a été la disposition que j'ai donnée à mes pompes à air pour éviter les inconvénients signalés plus haut, et depuis ce moment elles ont manœuvré jour et nuit pendant des mois entiers sans exiger la moindre réparation.

Il ne me reste plus maintenant qu'à parler de l'effet produit par l'air comprimé sur les ouvriers, et des résultats obtenus au moyen de l'appareil.

Le premier phénomène que l'on a observé lorsqu'on passe de l'air libre dans l'air comprimé, est une douleur plus ou moins vive qui se manifeste dans les oreilles. Cette douleur commence dès les premiers coups de piston, et cesse ordinairement lorsque le mercure s'est élevé de quelques pouces dans le manomètre; c'est-à-dire qu'il cesse dès que l'équilibre de pression s'est établi entre l'air comprimé de l'appareil et l'air renfermé dans l'oreille interne; fait d'autant plus probable que le meilleur moyen de la faire disparaître, est d'opérer un mouvement de déglutition en avalant sa salive. Il est à remarquer que cette douleur, à peine sensible pour quelques individus, est insupportable chez d'autres. Chez quelques-uns même (mais c'est le cas le plus rare) cette douleur est nulle en entrant dans l'air comprimé, tandis qu'en sortant elle devient très-vive. Je

crois devoir ajouter que la plus ou moins bonne disposition des personnes contribue beaucoup à la rendre plus ou moins forte; car j'ai éprouvé par moi-même, et j'ai remarqué souvent chez d'autres, qu'un jour on n'éprouvait qu'un léger engourdissement, tandis que le lendemain, toutes les circonstances paraissant les mêmes, on ressentait une douleur intolérable. Un fait bien constant, c'est que cette espèce d'engourdissement est d'autant moins sensible que l'appareil est plus grand et que l'on met plus de temps à passer de l'air libre dans l'air comprimé, ainsi que de l'air comprimé dans l'air libre; et c'est une chose que tous les ouvriers eux-mêmes ont remarquée chaque fois qu'il leur est arrivé de passer du sas à air dans le puits lui-même.

Le second phénomène produit par l'air comprimé est une accélération sensible de la combustion suivant l'intensité de la compression. A la pression de trois atmosphères, cette accélération devient telle que nous ayons été obligés de renoncer aux chandelles à mèches de coton pour les remplacer par des chandelles à mèches de fil. Les premières brûlaient avec une telle rapidité, qu'elles duraient à peine un quart d'heure, et elles répandaient en outre une fumée intolérable. Au moyen des mèches en fil, la combustion est devenue beaucoup moins vive, et l'on a diminué sensiblement le dégagement de la fumée. Cette accélération de la combustion s'explique du reste facilement par une plus grande quantité d'oxygène renfermé sous un même volume.

Quant à la température du puits, lorsqu'il est plein d'air comprimé à trois atmosphères, elle varie entre 15 et 17 degrés centig. Il est à remarquer qu'à la pression de trois atmosphères, les pompes, au lieu d'injecter de l'air froid, injectent de l'air qui est à peu près à cette température (15 à 17 degrés cent.), air qui s'est nécessairement beaucoup refroidi avant d'arriver dans le puits, car je me suis assuré

ment et les mêmes sifflements se firent entendre, et nous eûmes un jet d'eau tout à fait semblable au premier. Pendant deux heures environ, nous eûmes en diminutif le spectacle des geysers d'Islande, dont la cause maintenant me semble facile à expliquer.

Pour mieux nous rendre compte de ce qui se passait dans l'intérieur du tube, au moment de cette ascension d'eau, nous descendîmes dans le puits et y fûmes témoins d'un spectacle assez curieux. Lorsque la colonne d'eau refoulée par la compression de l'air atteignait la partie inférieure du tuyau de dégagement, l'air s'échappait aussitôt avec violence en enlevant une pellicule d'eau de 1 ou 2 millimètres, et c'est cette eau qui, diminuée de pesanteur spécifique par son mélange avec de l'air, produit le jet extraordinaire dont nous avons parlé tout à l'heure.

Ce jet continue jusqu'à ce que l'air soit assez distendu pour ne plus faire équilibre à la colonne d'eau qui pèse sur l'embouchure du tuyau de dégagement. Et comme la vitesse de ce courant ne peut s'arrêter instantanément, il en résulte que l'air se distend au-delà même de ce point, ce dont il est facile de juger par la surface courbe que l'eau offre alors au fond du puits; surface qui ne disparaît que lorsque la colonne liquide s'est élevée de manière à fermer tout à fait l'embouchure de ce tube. C'est alors que le jet cesse jusqu'à ce que l'air que l'on continue d'injecter ait refoulé de nouveau les eaux au-dessous de l'embouchure de ce tuyau. De là ces intermittences qui produisaient régulièrement toutes les cinq minutes un jet d'une hauteur extraordinaire et qui durait à peu près une minute et demie.

J'ai dit que ce phénomène présentait l'explication la plus probable des geysers d'Islande. En effet, que l'on suppose un volcan éteint, il est naturel de penser qu'il se sera fermé par le haut longtemps avant que l'intérieur se soit refroidi; que par suite du refroidissement même, les matières contenues à l'intérieur auront diminué peu à peu

de volume et qu'il en sera résulté une cavité. Que l'on suppose maintenant cette cavité en communication avec le canal d'une source venant de la partie supérieure, il arrivera que l'eau, en descendant dans cette cavité, formera, en raison de la température élevée de ses parois, une plus ou moins grande quantité de vapeur qui viendra presser sur la masse liquide, et il arrivera un instant où la vapeur elle-même se trouvant en contact avec le canal de la source, s'échappera avec violence en enlevant aussi une certaine quantité d'eau. De là alors un phénomène absolument semblable à celui produit par notre appareil.

Je citerai encore un dernier fait qui ne laissera peut-être pas d'intéresser l'Académie.

Dans l'opération que nous nous proposions, il ne s'agissait pas seulement d'arriver sur le terrain solide qui se trouvait à près de 20 mètres de profondeur, mais il fallait encore y pénétrer à plusieurs mètres pour établir la jonction définitive du tube en fer avec le terrain. Nous avions pour cela deux difficultés à vaincre. La première était de descendre au-dessous de la partie inférieure de notre tube où l'eau conservait un niveau constant, puisqu'à ce niveau, comme sous la cloche à plongeur, l'air s'échappait avec violence, et faisait bouillonner la Loire à plus de cent pas. D'un autre côté, le sable qui se trouvait desséché par ce courant d'air, coulait comme dans un sablier et encombrait notre puits à mesure que nous l'approfondissions. Nous remédiâmes à ce premier inconvénient en établissant sur ce point un tube mobile destiné à faire une jonction provisoire.

La seconde difficulté venait de cette jonction provisoire elle-même qui laissait échapper de l'eau, malgré toutes les précautions possibles; et comme nous atteignions la profondeur de 25 mètres, ce n'était qu'avec une extrême inquiétude que nous soumettions nos ouvriers à la pression de trois atmosphères et demie pour forcer cette eau à sortir

par le tube de dégagement. Tel était notre embarras, lorsque le hasard vint à notre secours.

Depuis quelques temps, nous donnions à peine à l'air comprimé la tension convenable pour refouler les eaux qui nous gênaient, et souvent il arrivait même que nous ne pouvions les faire monter. Nous nous trouvions un jour dans cette circonstance, lorsqu'un ouvrier, par maladresse, donna un coup de pioche dans le tuyau de dégagement et y fit un trou. L'eau jaillit aussitôt avec violence par l'extrémité du tube de dégagement, et le problème fut résolu.

C'était, en effet, une nouvelle application du principe qui avait déjà produit les jets extraordinaires dont nous avons parlé tout à l'heure. C'était encore un mélange artificiel d'eau et d'air qui produisait ce phénomène. Ajoutez à cela que l'air se trouvait introduit au tiers à peu près de la colonne et la divisait ainsi en deux parties; de sorte que si la tension de l'air n'était pas suffisante pour soulever la colonne tout entière, elle était surabondante pour la soulever ainsi par parties; car l'air comprimé pouvait alors agir à la fois sur deux points.

Depuis ce moment, rien n'arrêta plus nos travaux. C'est avec cette manœuvre on ne peut plus simple que nous sommes parvenus à deux résultats immenses pour nous : le premier, celui de n'avoir pas une goutte d'eau au fond de notre puits, et le second de ne jamais donner à l'air comprimé une tension plus grande que deux atmosphères, y compris la pression atmosphérique, quoique nous eussions cependant à élever les eaux à plus de 25 mètres.

Deux causes différentes, je le répète, contribuaient à notre succès : la première était le mélange artificiel de l'eau et de l'air, et la seconde, la division de la colonne de l'air en deux parties. Ce fait est d'autant plus évident, que le jet étant une fois établi, souvent je l'ai vu continuer à la hauteur de 25 mètres, quoique le manomètre marquât à peine une demi-atmosphère en sus de la pression atmosphérique.

Nous ne l'avons du reste jamais vu s'arrêter avant ce point dans toutes les expériences que nous avons faites.

Là se bornent les différentes observations que nous avons été à même de faire pendant le percement de notre puits au moyen de l'air comprimé. Nous allons terminer cet exposé en disant deux mots seulement, tant des résultats obtenus au moyen de notre appareil, que des différents travaux auxquels nous le croyons applicable. Il est inutile de dire que cet appareil n'est que le perfectionnement de la cloche à plongeur, et qu'il a sur elle l'avantage de permettre de pénétrer dans le terrain solide, ce qu'on ne peut attendre de la cloche ordinaire. En effet, c'est au moyen de cet appareil qu'après avoir traversé 19 mètres de sables, nous nous sommes enfoncés de 6 mètres environ dans le terrain houiller, et avons exécuté à sec, au milieu de la Loire, deux trousses picotées et un cuvelage qui en ce moment ne laisse pas filtrer 2 hectolit. d'eau par vingt-quatre heures. Cette opération n'est plus une question, elle est terminée; l'appareil à air comprimé est enlevé, et les mineurs en ce moment font sauter à la poudre et à l'air libre, au-dessous d'une couche d'eau de 25 mètres, le grès houiller le plus dur. Ils approfondissent enfin un puits qui doit désormais conduire à l'exploitation certaine d'un terrain houiller où personne avant nous n'avait pénétré; de sorte que nous pouvons dire que nous avons doté le pays d'une richesse minérale bien connue, il est vrai, depuis des siècles, mais sur laquelle jamais on n'avait compté, car elle était réputée inaccessible.

Quant aux applications de notre appareil, nous pensons que le génie maritime peut en tirer un très-grand parti pour le creusement des ports; que les ponts et chaussées, pour la construction des ponts, peuvent également le mettre en usage, ne fût-ce même que pour le pont de Tours, dont nous pourrions aller consolider les arches chance-

lantes. Quant aux mines, son utilité ne peut plus être mise en doute; déjà dans le département du Nord, M. Mathieu, directeur des mines de Douchy, doit reprendre avec ce moyen deux puits abandonnés à 20 mètres de profondeur, malgré les plus grands sacrifices.

Sur la lumière qui apparaît pendant la cristallisation;

PAR M. H. ROSE.

(Extrait des *Comptes rendus de l'Académie de Berlin.*)

On avait déjà observé depuis longtemps une production de lumière au moment de la cristallisation de certains sels, mais ce phénomène n'avait jamais été observé que d'une manière accidentelle, on ne pouvait pas le reproduire à volonté. Je fis voir (*Annales de Chimie et de Physique*, tome LXI, p. 288), qu'une dissolution chaude d'acide arsénieux vitreux dans l'acide chlorhydrique donnait pendant son refroidissement des apparences de lumière très-belles au moment de la formation des cristaux. Je trouvais que l'acide arsénieux dans sa modification opaque ni celui qui s'est déposé d'une dissolution d'acide arsénieux vitreux ou opaque ne présentaient plus ce phénomène quand on les mettait en dissolution dans l'acide chlorhydrique. Je conclus de ces remarques que la production de lumière était due au passage de l'acide arsénieux de la modification vitreuse à la modification opaque.

Plusieurs auteurs ont déjà annoncé que l'on observait quelquefois de la lumière pendant la cristallisation du sulfate de potasse. Mais c'est seulement après un grand nombre d'essais infructueux que je suis parvenu à reproduire ce phénomène à volonté. En dissolvant dans l'eau chaude le sel cristallisé ou le sel récemment fondu, je n'ai jamais pu observer de phénomène de phosphorescence. Je ne fus pas étonné de ce résultat parce que le sulfate de potasse fondu lui-même est complétement cristallisé et présente les mêmes clivages que le sel cristallisé par voie humide. On obtient le sulfate de potasse à l'état d'une masse vitreuse sans apparence de cristallisation quand on le fond après l'avoir mélangé de sulfate de soude. Le mélange est beaucoup plus fusible que chacun des sels composants.

Un mélange composé d'un équivalent de chacun de ces sels fondu dans un creuset de platine a donné une masse vitreuse mais qui se fendille dans tous les sens pendant le refroidissement; ce qui peut faire croire au premier abord à une texture cristalline, mais qui n'existe réellement pas.

La masse fondue est dissoute dans de l'eau bouillante et la liqueur filtrée aussi promptement que possible. La dissolution abandonnée à un refroidissement lent donne dans l'obscurité les mêmes apparences de lumière que la dissolution d'acide arsénieux vitreux. La formation de chaque rudiment de cristal est annoncée par une étincelle.

Les cristaux que l'on obtient ainsi ne présentent plus rien de semblable quand on les redissout de nouveau.

Les cristaux qui se sont formés avec lumière, étant retirés de la dissolution, deviennent encore phosphorescents quand on les frotte ou même quand on les presse seulement un peu fortement. Mais la lumière est plus faible dans cette circonstance que celle qui se fait remarquer pendant la cristallisation. Au bout de quelques heures les cristaux ne présentent plus de phosphorescence à la friction. Les cristaux d'acide arsénieux qui se sont déposés d'une dissolution chaude de l'acide vitreux dans l'acide chlorhydrique conservent beaucoup plus longtemps la propriété de devenir phosphorescents par friction.

Les cristaux de sulfate de potasse qui se forment dans cette circonstance présentent du reste la forme cristalline ordinaire de ce sel; de sorte qu'il faut encore attribuer ici la production de lumière à la même cause qui donne lieu à la phosphorescence pendant la cristallisation de l'acide arsénieux. Le sulfate de potasse fondu avec du sulfate de soude est à l'état vitreux. Le sel, dissous dans l'eau bouillante, ne se sépare à l'état cristallisé que lorsqu'il se dépose pendant le refroidissement.

Pour observer la phosphorescence du sulfate de potasse pendant sa cristallisation, il est nécessaire de dissoudre dans l'eau la masse fondue peu de temps après son refroidissement; si l'on ne fait la dissolution que vingt-quatre heures après la fusion, on n'aperçoit plus de lumière que pour quelques cristaux, et si l'on attend plusieurs jours, alors la phosphorescence ne se présente plus du tout; la masse fondue paraît avoir passé alors à l'état cristallisé.

Dans ces expériences qui ne donnent pas de lumière pendant la cristallisation, on s'aperçoit facilement que le

el qui s'est déposé de la liqueur présente un autre aspect que lorsqu'il y a eu phosphorescence pendant la cristallisation. Dans ce dernier cas, on n'observe pas de sulfate de soude hydraté parmi les cristaux de sulfate de potasse, ou s'il y en a on n'en observe que quelques-uns qui se sont déposés très-tard. Quand le phénomène de phosphorescence n'a pas eu lieu, on observe toujours qu'il s'est déposé avec le sulfate de potasse une grande quantité de sulfate de soude hydraté.

Un grand nombre d'expériences m'ont montré que les cristaux qui se sont déposés avec phosphorescence ne sont pas formés de sulfate de potasse pur, qu'ils renferment une quantité très-notable de sulfate de soude, à l'état anhydre; que c'est un véritable sel double qui présente non-seulement la même forme cristalline que le sulfate de potasse, mais encore le plupart de ses propriétés physiques.

J'ai trouvé dans plusieurs expériences le sel double composé de 2 atomes sulfate de potasse et de 1 atome de sulfate de soude; dans d'autres, au contraire, j'ai trouvé le rapport de 3 atomes de sulfate de potasse et de 2 atomes de sulfate de soude. Je ne déciderai pas si le sel qui se dépose avec phosphorescence a une composition définie, et si les divergences que l'on rencontre dans les analyses tiennent à ce que le sel double défini se trouve mélangé de sulfate de potasse pur ou bien si les deux sulfates, comme corps isomorphes, peuvent se combiner en proportions quelconques.

Ainsi le phénomène de la phosphorescence paraît tenir dans ce cas à ce qu'un sulfate double de potasse et de soude et non pas de sulfate de potasse pur, à l'état vitreux après la fusion, se dissout en conservant le même état et passe à l'état de cristallisation au moment seulement où il se sépare de la liqueur. La phosphorescence se présente donc toujours dans les mêmes circonstances que pour l'acide arsénieux.

Mais comme les deux sels simples qui constituent le sulfate double ne sont combinés qu'en vertu d'une affinité très-faible, il arrive souvent qu'ils se séparent dans la dissolution et qu'ils cristallisent alors isolés, l'un des sulfates à l'état anhydre, et l'autre à l'état hydraté. Mais quand ce cas se présente on n'observe jamais de phosphorescence au moment de la cristallisation.

Le sulfate de potasse du commerce renferme maintenant presque constamment du sulfate de soude, comme je l'ai

reconnu dans bien des analyses. Cette substance s'y trouve évidemment à l'état de sel double. Dans ce sel double, la potasse est isomorphe avec la soude, ce qui n'a pas lieu ordinairement, car le sulfate de soude anhydre de la nature (la thenardite) n'a pas la même forme que le sulfate de potasse. Il paraît que lorsqu'un sel de potasse est mélangé avec un sel de soude formé par le même acide, la combinaison prend la forme du sel de potasse toutes les fois que la liqueur renferme un plus grand nombre d'atomes de sel potassique que de sel sodique.

Le sulfate double de potasse et de soude se produit encore dans d'autres circonstances que par la fusion directe de deux sulfates mélangés, ainsi on l'obtient en fondant le sulfate de potasse avec du chlorure de sodium; il semble même que dans ce cas le sel double se forme plus facilement que par la fusion du mélange des deux sulfates. Le phénomène de phosphorescence se présente plus régulièrement et il ne se dépose pas de cristaux de sulfate de soude hydraté.

On arrive au même résultat en fondant ensemble du sulfate de potasse avec du carbonate de soude ou du chlorure de potassium avec du sulfate de soude.

Je me suis assuré, par un grand nombre d'expériences, que le sulfate de potasse ne présente jamais de lumière à sa cristallisation quand il a été fondu avec des sels qui ne renferment pas de soude.

Des poids atomiques égaux de chromate neutre de potasse et de sulfate de soude anhydre ont donné après fusion une masse qui s'est comportée comme celle que l'on obtient en fondant ensemble les deux sulfates. La substance dissoute dans l'eau chaude a donné pendant le refroidissement de la liqueur, avec dégagement de lumière, des cristaux jaunes présentant la forme du chromate de potasse qui est, comme on sait, la même que celle du sulfate. L'analyse m'a montré que ces cristaux renfermaient de l'acide sulfurique, de l'acide chromique, de la potasse et de la soude. L'oxygène des bases était le tiers de celui des acides.

Au reste, le chromate double de potasse et de soude ne renfermant pas de sulfate, présente une phosphorescence très-vive. Ce sel s'obtient facilement en fondant ensemble du bichromate de potasse avec du carbonate de soude. Le sel double qui a cristallisé avec lumière, a présenté la forme du sulfate de potasse et il a été trouvé composé de 1 atome chromate de soude et 3 atomes chromate de potasse.

Le prix élevé du sélénium m'a empêché de faire sur les séléniates un aussi grand nombre d'expériences que sur les sulfates. Le séléniate de potasse pur ne m'a pas présenté plus de phosphorescence à sa cristallisation que le sulfate. Un mélange de 1 atome de séléniate de potasse et de 1 atome de sulfate de soude ayant été fondu, la masse bouillie avec de l'eau a donné pendant le refroidissement de la liqueur une phosphorescence très-vive et des cristaux de la même forme que le sulfate de potasse. Ces cristaux étaient composés d'acide sulfurique, d'acide sélénique, de potasse et de soude.

Les phénomènes de lumière qui se manifestent pendant la cristallisation de certains corps sont dus, comme on le voit par ce qui précède, à ce qu'un sel passe d'un état à un autre état isomérique. Ces passages sont très-souvent accompagnés de phénomènes qui paraissent de même nature que la phosphorescence pendant la cristallisation de quelques sels : parmi les plus ordinaires, on doit citer l'incandescence subite de quelques oxydes, de l'oxyde de chrome, de l'acide titanique, etc., etc., ou de quelques minéraux, comme la gadolinite. Avant cette incandescence, ces substances sont facilement solubles ou attaquables par les acides, et, après l'incandescence, elles sont devenues insolubles, ou au moins très-difficilement solubles.

Dans les deux états isomériques de l'acide arsénieux, on trouve une différence dans la densité et dans la solubilité. Les minéraux que je viens de citer présentent également une différence de densité avant et après l'incandescence. Mais la densité n'est pas toujours, comme on pourrait le croire, plus forte après l'incandescence qu'avant. Cette circonstance m'a conduit à rechercher s'il y avait un dégagement de chaleur tant pendant la cristallisation que pendant l'incandescence que présentent certains minéraux. Dans bien des essais je n'ai pu apercevoir de dégagement de chaleur ni pendant la cristallisation de l'acide arsénieux, ni pendant l'incandescence de l'oxyde de chrome.

OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES. — OCTOBRE 1841.

JOURS.	9 HEURES DU MATIN.			MIDI.			3 HEURES DU SOIR.			9 HEURES DU SOIR.			THERMOMÈT.		ÉTAT DU CIEL	VENTS
	Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	Maxim.	Minim.	A MIDI.	à MIDI.
1	747,28	+16,8		747,97	+17,9		748,18	+19,5		750,65	+15,5		+19,9	+15,7	Couvert.	S. S. O.
2	753,01	+14,2		752,24	+15,3		751,38	+15,8		751,09	+13,7		+16,2	+10,9	Couvert	S. S. O.
3	750,20	+10,8		749,76	+14,6		749,03	+14,9		748,79	+14,5		+16,5	+ 9,8	Couvert.	O.
4	747,49	+12,6		746,19	+14,3		745,34	+15,6		743,76	+11,9		+16,2	+12,0	Couvert	N. O.
5	749,18	+13,6		739,22	+17,0		737,48	+15,5		732,43	+12,9		+17,7	+10,8	Beau.	S. O.
6	733,88	+12,3		733,78	+15,2		733,83	+14,5		735,32	+10,7		+15,9	+ 8,9	Couvert	S. O
7	738,97	+13,4		739,15	+16,5		738,61	+15,7		738,75	+12,5		+17,5	+ 9,2	Nuageux	S. S. O.
8	741,81	+13,8		742,90	+15,9		744,40	+14,4		748,28	+11,1		+16,5	+ 9,7	Très-nuageux	O. S. O.
9	753,65	+11,7		754,22	+16,2		754,53	+14,0		757,16	+11,3		+16,6	+ 8,7	Couvert.	O.
10	758,15	+12,8		757,68	+15,5		756,28	+14,5		754,60	+11,0		+15,6	+ 9,1	Couvert	S. S. O.
11	751,56	+13,8		751,70	+15,4		750,45	+15,9		750,19	+12,0		+16,6	+10,9	Couvert	S. O.
12	746,53	+12,4		746,14	+14,7		746,31	+13,6		750,05	+ 9,7		+15,0	+ 9,9	Couvert	S. O.
13	755,23	+10,4		757,31	+13,6		758,78	+14,5		761,82	+10,6		+15,0	+ 8,0	Couvert	O. S. O.
14	759,09	+13,1		759,80	+14,7		759,00	+15,3		757,42	+14,0		+15,8	+10,1	Couvert	S. O.
15	751,55	+14,4		751,07	+16,7		751,69	+15,9		754,60	+11,3		+17,0	+12,9	Couvert	S. O. fort.
16	754,34	+ 9,7		749,90	+ 9,6		747,76	+12,0		746,83	+14,5		+14,8	+ 8,0	Pluie	S. S. O.
17	751,77	+13,0		750,43	+17,8		749,72	+16,6		750,74	+13,2		+18,0	+10,9	Très-nuageux	S. O.
18	753,98	+12,3		756,30	+15,0		757,43	+14,5		758,15	+ 8,1		+16,6	+ 9,5	Nuageux	O. N. O. fort.
19	751,96	+10,4		752,92	+12,4		755,38	+10,6		759,60	+ 5,3		+12,9	+ 6,0	Couvert	S. O. viol.
20	759,72	+ 5,1		758,46	+10,8		757,02	+11,7		756,47	+ 5,3		+11,9	+ 1,3	Beau	O. S. O.
21	756,46	+ 7,0		757,95	+11,0		760,30	+ 9,9		763,54	+ 4,0		+11,0	+ 5,0	Couvert	O. N. O.
22	763,41	+ 3,4		761,45	+ 9,6		759,78	+ 9,4		758,68	+ 3,6		+10,1	— 0,2	Beau	S. E.
23	749,61	+10,8		747,72	+14,6		745,29	+13,5		741,37	+13,3		+14,8	+ 2,4	Couvert	S. S. O.
24	737,19	+13,2		736,65	+14,3		735,89	+14,2		737,75	+11,6		+14,5	+10,4	Beau.	S. S. O. fort.
25	738,80	+ 8,4		739,64	+11,5		738,44	+12,1		739,48	+ 6,6		+12,3	+ 6,0	Quelques nuages	S. S O. fort.
26	738,26	+ 6,3		737,93	+ 8,2		737,49	+ 9,0		737,86	+ 8,7		+ 8,9	+ 3,8	Pluie continuelle	N. N. O.
27	737,43	+ 8,5		737,43	+10,3		737,94	+11,5		741,13	+ 9,1		+11,8	+ 7,8	Couvert	E. N. E.
28	746,24	+ 9,5		746,53	+13,2		747,00	+13,2		748,63	+ 8,9		+13,8	+ 7,0	Couvert.	S.
29	749,27	+ 6,8		748,36	+ 9,7		746,94	+10,1		746,15	+ 8,7		+10,0	+ 4,9	Couvert	N.
30	746,61	+ 8,0		747,47	+ 8,8		748,09	+ 9,4		750,04	+ 8,8		+ 9,6	+ 7,0	Couvert	N. E.
31	754,22	+ 5,8		754,43	+ 7,4		755,02	+ 9,3		756,08	+ 7,3		+ 9,8	+ 5,0	Couvert	S. E.
1	746,46	+13,2		746,31	+15,8		745,91	+15,4		746,08	+12,8		+16,9	+10,5	... Moy. du 1er au 10	Pluie en cent.
2	753,57	+11,5		753,40	+14,1		753,37	+14,1		754,59	+10,4		+15,4	+ 8,7	... Moy. du 11 au 20	Cour. 7,363
3	747,05	+ 8,0		746,87	+10,8		746,56	+11,0		747,16	+ 8,2		+11,3	+ 5,3	... Moy. du 21 au 31	Terr. 6,244
															... Moyennes du mois	

chimique. En voici d'autres qui le considèrent comme un mélange constant de 21 d'oxygène pour 79 d'azote. Enfin, viennent des physiciens qui veulent que sa composition varie avec la hauteur.

Toutes ces opinions ne donnent pas une idée bien haute de la confiance qu'inspire la méthode employée habituellement pour faire l'analyse de l'air; elles prouvent que chacun croit y entrevoir des causes d'erreur suffisantes pour justifier le peu de cas qu'il fait des analyses connues.

L'incertitude augmente encore quand on sait que l'analyse de l'air s'accorde de la manière la plus parfaite avec les densités de l'oxygène et de l'azote, données par MM. Berzélius et Dulong, densités évidemment incorrectes, comme on le verra plus loin.

Ainsi ce n'est plus à titre seulement de renseignement historique à léguer à la postérité qu'il importait de soumettre la composition de l'air à une étude nouvelle et assez exacte pour inspirer quelque confiance aux savants. Au respect pour un des derniers vœux que Laplace ait fait entendre dans cette enceinte, et dont il a confié l'exécution à l'Académie, venait se joindre un intérêt actuel, vraiment irrésistible; car les théories les plus délicates de la science semblaient s'être donné rendez-vous sur cette question de la composition de l'air pour s'y heurter et se contredire.

Ainsi, pour le Dr Prout et le Dr Thompson, tous les gaz ont des densités exprimées par des multiples en nombres entiers de la densité de l'hydrogène. L'azote est quatorze fois plus pesant que l'hydrogène; l'oxygène est seize fois plus pesant que lui; enfin l'azote et l'oxygène se trouvent exactement dans la composition de l'air dans le rapport de 1 à 4 en volumes.

Dès lors, si l'on pose les deux équations suivantes

$$\frac{x+4y}{5} = 1, \qquad \text{et} \qquad \frac{x}{16} = \frac{y}{14},$$

x et y étant les densités respectives de l'oxygène et de l'azote, on trouve, en définitive,

$$x = 1{,}111, \text{ densité de l'oxygène;}$$
$$y = 0{,}972, \text{ densité de l'azote;}$$
$$\frac{x}{16} = 0{,}694, \text{ densité de l'hydrogène.}$$

Ces nombres, les seuls qui puissent satisfaire aux conditions énoncées, exigent, comme on voit, qu'on altère non-seulement la composition de l'air, mais aussi le chiffre qui exprime la densité de l'oxygène.

Guidée par ces opinions, l'école anglaise n'a pas hésité à faire subir aux poids atomiques de M. Berzélius des corrections souvent très-graves et presque toujours si heureuses, qu'on n'a pu s'empêcher de prendre en très-sérieuse considération des idées qui, au premier abord, semblaient devoir rester hors du domaine de la discussion expérimentale.

On peut dire que dans l'état actuel des choses, soit par suite de la difficulté des analyses elles-mêmes, soit à cause de l'incertitude qui règne sur la valeur de quelques-uns des coefficients applicables aux gaz, on a le droit de regarder les erreurs d'un centième comme possibles et admissibles en ce qui concerne les densités de l'oxygène et de l'azote ou l'analyse de l'air. Ce sont ces difficultés que nous avons cherché à écarter de la science.

Comme il régnait le même doute sur ces trois points, nous avons dû mettre en usage des procédés qui fussent absolument indépendants des chiffres admis jusqu'ici pour la densité de l'oxygène ou pour celle de l'azote; nous avons dû même éviter de baser nos analyses de l'air sur la composition attribuée à quelque composé que nous aurions produit à son aide, car il aurait fallu s'appuyer sur des données analytiques antérieures, et, sans mettre en doute aucun des faits de la science, nous avons cru convenable

de nous rendre indépendants de toutes les circonstances étrangères au point précis que nous voulions déterminer.

Nous avons trouvé toutes ces conditions réunies par l'emploi d'un procédé très-simple dans sa conception comme dans son exécution, et qui ne renferme réellement comme chose nouvelle que le moyen de remplacer la mesure des gaz par leur pesée. Ainsi, nous avons réussi à faire l'analyse de l'air en pesant l'oxygène et en pesant l'azote qu'il renferme.

En effet, nous étant procuré un ballon vide d'air, nous le mettons en rapport avec un tube plein de cuivre métallique réduit par l'hydrogène et armé de robinets qui permettent d'y faire également le vide. On a d'ailleurs déterminé exactement le poids de ce tube, *Pl. II, fig.* 1.

Le cuivre étant chauffé au rouge, on ouvre celui des robinets par où doit arriver l'air qui se précipite alors dans le tube, où il cède à l'instant son oxygène au métal. Au bout de quelques minutes, on ouvre le second robinet, ainsi que celui du ballon, et le gaz azote se rend dans le ballon vide. Les robinets demeurés ouverts, l'air afflue, et à mesure qu'il passe dans le tube il y abandonne son oxygène; c'est donc de l'azote pur que le ballon reçoit. Quand il en est plein ou à peu près, on ferme tous les robinets. On pèse ensuite séparément le ballon et le tube pleins d'azote, puis on les pèse de nouveau après y avoir fait le vide. La différence de ces pesées donne le poids du gaz azote. Quant au poids de l'oxygène, il est fourni par l'excès de poids que le tube qui contient le cuivre a acquis pendant la durée de l'expérience.

Nous n'insistons pas, pour le moment, sur les précautions que nous avons jugées nécessaires dans la pesée du ballon plein d'azote et vide; elles seront mieux à leur place dans la discussion des moyens que nous avons mis en œuvre pour contrôler les densités de l'oxygène et de l'azote.

Mais nous devons dire sur quoi se fonde notre conviction relativement à la base même du procédé, c'est-à-dire l'absorption totale de l'oxygène de l'air qui passe par le tube au moyen du cuivre.

La rapidité du courant d'air qui traverse le tube a nécessairement de l'influence sur l'absorption de l'oxygène; il ne faudrait pas l'exagérer. Cependant, nous avons vu qu'elle pouvait être assez grande. En effet, nous avons souvent fait passer plus de dix litres d'air par heure au travers des tubes, sans que l'absorption d'oxygène en parût en rien altérée. Ordinairement, nous demeurons fort au-dessous de cette limite, afin d'être sûrs qu'aucune portion d'oxygène n'échappe à l'action du métal.

Il suffit de voir comment l'expérience se comporte pour être pleinement rassuré à ce sujet. En effet, l'air se dépouille tout à coup d'oxygène dès son entrée dans le tube. Le cuivre qui s'oxyde occupe une zone tout à fait limitée, et après les plus longues expériences l'oxydation se trouve renfermée dans l'espace de 2 ou 3 centimètres. La presque totalité du tube contient donc encore, à la fin de l'expérience, du cuivre métallique doué de tout son éclat et éminemment propre à recueillir les dernières traces d'oxygène.

Nous n'avons pas voulu néanmoins nous en rapporter à ces apparences. Tout étant disposé comme à l'ordinaire, nous avons triplé la vitesse du courant d'air dans l'appareil, et, sous cette condition défavorable, nous avons essayé s'il retenait de l'oxygène. Il n'en avait pas gardé la moindre trace. En effet, nous avons dirigé l'azote tout entier au travers d'un tube contenant une dissolution ammoniacale de protochlorure de cuivre bien incolore, et nous n'avons pas pu découvrir le moindre indice de coloration dans ce liquide. Or la plus légère trace d'oxygène l'aurait fait passer au bleu foncé.

Parmi les causes d'erreur qui pourraient exercer une

grande influence sur les résultats des analyses faites par la méthode que nous avons décrite, la plus grave à la fois et la plus facile à éviter est celle qui proviendrait de la présence de l'eau dans le cuivre employé. Avec des soins convenables, on se met à l'abri de cet inconvénient, mais il est plus simple de faire passer d'abord dans le tube qui contient le cuivre, quelques litres d'air, le tube étant chauffé au rouge. On oxyde ainsi et l'on perd un peu de cuivre, mais on enlève les plus petites traces d'humidité. On fait ensuite le vide dans le tube refroidi, on pèse celui-ci et l'on procède à l'analyse.

Exécutées à l'aide de ce procédé, et sur une grande échelle, toutes nos expériences, sans exception, sont venues confirmer la composition de l'air admise par les chimistes français, et fondée sur les belles expériences eudiométriques par lesquelles MM. de Humboldt et Gay-Lussac ont fixé, il y a trente-cinq ans, la composition de l'air d'une manière irréprochable dans les limites de sensibilité de leur instrument.

Nous ferons voir tout à l'heure qu'au lieu de renfermer 21 d'oxygène p. 100 en volumes, l'air n'en contient réellement que 20,8. La différence qui se remarque entre nos résultats et ceux de MM. de Humboldt et Gay-Lussac ne s'élève donc pas à $\frac{1}{100}$ sur le volume de l'oxygène; elle est d'ailleurs dans le sens des erreurs inévitables dues à l'impureté de l'hydrogène recueilli sur l'eau, quelque rapide que soit sa préparation.

Nous ne rapporterons pas toutes nos analyses; nous donnons ici seulement le détail de celles qui ont été faites au moment où l'expérience acquise dans le maniement du procédé nous permettait d'atteindre une précision qui les rendait bien comparables. Or, nous devons le dire, à mesure que nous faisions disparaître les petites causes d'erreur que nous avions méconnues d'abord, les différences apparentes de la composition de l'air s'effaçaient; celle-ci

se montrait plus constante, et nous étions conduits invinciblement à considérer comme dues à des erreurs d'observation des différences un peu fortes qui, au premier abord, semblaient appartenir à la constitution de l'air lui-même.

L'air que nous soumettions à l'analyse était aspiré par des tubes de verre qui le puisaient dans le jardin de mon laboratoire, près du Jardin des Plantes. Quand nous faisions deux analyses simultanées, les deux tubes aspirateurs venaient se terminer au même point, et prenaient par conséquent l'air dans la même couche.

Avant d'arriver sur le cuivre qui devait lui enlever son oxygène, l'air se dépouillait d'abord d'acide carbonique en passant dans des appareils remplis de potasse liquide très-concentrée, puis d'eau en traversant des tubes garnis d'acide sulfurique concentré et pur.

Nous n'avons tenu nul compte des traces d'hydrogène carboné qui existent dans l'atmosphère. Nous dirons plus loin comment il sera facile d'y avoir égard, quand l'échelle des expériences aura été suffisamment agrandie pour que cet hydrogène carboné puisse y jouer un rôle notable.

Les six analyses que nous allons rapporter en détail ont été faites deux à deux. L'air analysé était pris au même endroit pour les deux expériences de chaque jour, et leur durée était combinée de façon d'ailleurs que la plus longue, qui se passait sur 10 litres d'air environ, commençait un peu plus tôt et finissait un peu plus tard que l'autre, qui s'exécutait sur 6 litres seulement.

Nous avions pris cette précaution pour corriger l'erreur qui serait résultée d'une modification régulière que l'air aurait pu subir pendant la durée de l'expérience; les résultats ont prouvé qu'elle était superflue.

27 AVRIL. — *Beau temps. Ciel découvert.*

1re EXPÉRIENCE.

Poids du tube plein de cuivre et vide d'air.....		gr. 647,666	
Poids du tube après l'expérience et plein d'azote.....		651,415	
Poids du tube après l'expérience et vide d'azote....		651,346	
Poids du ballon contenant l'azote 1403,838 à 19°,00 et 0,7627			
Poids du ballon vide..... 1391,554 à 19°,40 et 0,7627			
Poids de l'oxygène.....		3,680	22,92
Poids de l'azote { du tube..... 0,069 / du ballon.... 12,304 }		12,373	77,08
Air analysé.....		16,053	100,00

2me EXPÉRIENCE.

Poids du tube plein de cuivre et vide d'air.....		gr. 718,862	
Poids du tube après l'expérience et plein d'azote.....		721,187	
Poids du tube après l'expérience et vide.....		721,115	
Poids du ballon contenant l'azote 1183,140 à 19°,60 et 0,7627			
Poids du ballon vide..... 1175,641 à 19°,80 et 0,7627			
Poids de l'oxygène.....		2,253	22,92
Poids de l'azote { du tube..... 0,072 / du ballon..... 7,505 }		7,577	77,08
		9,830	100,00

28 AVRIL. — *Beau temps. Ciel découvert.*

1re EXPÉRIENCE.

Poids du tube plein de cuivre et vide d'air.....		gr. 721,153	
Poids du tube après l'expérience et plein d'azote.....		723,488	
Poids du tube après l'expérience et vide d'azote.....		723,415	
Poids du ballon contenant l'azote 1183,190 à 21°,08 et 0,7620			
Poids du ballon vide..... 1175,708 à 21°,30 et 0,7620			
Poids de l'oxygène.....		2gr,262	23,03
Poids de l'azote { du tube..... 0,073 / du ballon..... 7,488 }		7,561	76,97
		9,823	100,00

2me EXPÉRIENCE.

Poids du tube plein de cuivre et vide d'air.....		gr. 651,383	
Poids du tube après l'expérience et plein d'azote.....		655,130	
Poids du tube après l'expérience et vide d'azote.....		655,069	
Poids du ballon contenant l'azote 1403,904 à 21°,57 et 0,7619			
Poids du ballon vide..... 1391,702 à 21°,82 et 0,7619			
Poids de l'oxygène.....		3,686	23,09
Poids de l'azote { du tube..... 0,061 / du ballon... 12,219 }		12,280	76,91
Air analysé.....		15,966	100,00

29 AVRIL. — *Beau temps. Ciel découvert.*

1re EXPÉRIENCE.

				gr.
Poids du tube plein de cuivre et vide d'air.....				723,339
Poids du tube après l'expérience et plein d'azote....				725,675
Poids du tube après l'expérience et vide d'azote.....				725,600
Poids du ballon contenant l'azote			1183,201 pesé dans l'air à 22°,40 et 0,7615	
Poids du ballon vide.....			1175,732 pesé dans l'air à 22°,70 et 0,7615	
Poids de l'oxygène.....			28r,261	23,03
Poids de l'azote	du tube.....	0,075	7 ,556	76,97
	du ballon....	7,481		
Air analysé.....			9 ,817	100,00

2me EXPÉRIENCE.

				gr.
Poids du tube plein de cuivre et vide d'air.....				655,093
Poids du tube après l'expérience et plein d'azote.....				658,826
Poids du tube après l'expérience et vide d'azote.....				658,763
Poids du ballon contenant l'azote			1403,923 pesé dans l'air à 22°,70 et 0,7623	
Poids du ballon vide.....			1391,738 pesé dans l'air à 22°,90 et 0,7623	
Poids de l'oxygène.....			38r,670	23,04
Poids de l'azote	du tube....	0,063	12 ,258	76,96
	du ballon..	12,195		
Air analysé.....			15 ,928	100,00

Ces six expériences simultanées deux à deux donnent donc, en résumé, les résultats suivants :

	Petit ballon.	Ballon moyen.	
27 avril, oxygène.	22,92	22,92	pour 100 d'air en
28 *idem*.....	23,03	23,09	poids.
29 *idem*.....	23,03	23,04	
Moyennes ...	22,993	23,016	

Et en prenant la moyenne des six expériences, on trouve

Oxygène ...	230,10	ou bien	23
Azote.....	769,90		77
	100,00		100

pour la composition de l'air en poids dans les circonstances où nous avons opéré.

Dans une expérience où nous opérions sur l'air pris dans le laboratoire même, nous n'avons trouvé que 22,3 d'oxygène pour 100 d'air en poids. Cette différence, à peine appréciable par les méthodes eudiométriques ordinaires, s'exprime dans notre procédé par des chiffres si considérables, qu'elle ne saurait échapper à l'observation la moins attentive. Mais nous réservons pour une autre époque les recherches relatives à l'air vicié, que nous nous proposons d'accomplir en vue des études que la physiologie et l'hygiène réclament sous ce rapport.

Ainsi, en nous bornant à la composition de l'air normal, nous trouvons que dans les derniers jours d'avril, et par un beau temps, il était formé de 2300 d'oxygène pour 7700 d'azote en poids. Ce fait étant indépendant de toute correction, de tout coefficient, de toute hypothèse, peut servir à discuter quelques chiffres d'une très-grande importance, savoir, la densité de l'azote et celle de l'oxygène. En effet, il faut qu'en prenant

$$\begin{array}{r} 2300 \text{ oxygène,} \\ 7700 \text{ azote,} \\ \hline 10000 \text{ air,} \end{array}$$

et divisant chacun de ces nombres par les densités respectives de l'oxygène, de l'azote et de l'air, on retrouve un accord convenable dans les volumes qui s'en déduiront. Et comme la densité de l'air est l'unité, 10000 d'air en poids en représentent 10000 en volume, qui doivent former la somme des volumes des 2300 oxygène et des 7700 azote. On aurait donc

$$\frac{2300}{1,1026} + \frac{7700}{0,976} = 10000,$$

si les densités de l'oxygène et de l'azote données par M. Berzélius étaient exactes. Mais on a, tout au contraire,

$$\frac{2300}{1,1026} = 2086,$$

$$\frac{7700}{0,976} = \frac{7889}{9975}$$

Le volume de l'air qui devrait être égal à 10000, ne s'élèverait donc qu'à 9975; ce qui correspond à une erreur de $\frac{25}{10000}$. Comme nous pensions qu'une telle erreur n'était pas possible dans nos expériences, nous avons jugé nécessaire de prendre avec des soins nouveaux la densité de l'oxygène et celle de l'azote.

Le principe sur lequel nous nous sommes fondés nous a entraînés peu à peu dans bien des tâtonnements; mais nous espérons qu'il en sera résulté une méthode propre à introduire dans ces sortes de recherches une précision qui n'aura de limites que celle qui résulte de la capacité des vases, qui demeure bornée à certains termes difficiles à dépasser.

Prendre la densité d'un gaz, c'est par exemple en déterminer le poids et le volume. Pour cela, il faut connaître la capacité du vase et ramener les observations aux mêmes températures et aux mêmes pressions; ce qui fait intervenir dans les calculs pour des quantités plus ou moins fortes le coefficient de la dilatation de l'eau, celui de la dilatation du verre, celui de la dilatation du gaz, enfin l'application de la loi de Mariotte. Ces corrections prises isolément peuvent bien avoir des effets peu sensibles, mais réunies elles pourraient, en donnant des erreurs dans le même sens, conduire à des résultats qui manqueraient d'exactitude. Sans négliger cette méthode, nous ne nous en sommes servis que comme auxiliaire.

On peut aussi apprécier la densité d'un gaz en comparant le poids de l'air que perd un ballon où l'on fait le vide, et celui du gaz qui peut y entrer pour en prendre la place.

Cette méthode est très-commode; on l'emploie le plus ordinairement, mais elle suppose que le gaz est recueilli d'avance dans un réservoir où on le puise pour remplir le ballon. Or, nous voulions éviter de préparer nos gaz à l'avance et de les conserver dans des récipients, pratique qui entraîne mille difficultés relativement à la pureté du gaz, à cause des échanges de gaz et d'air qui s'effectuent au contact du liquide saturé d'air.

Voici, en conséquence, la marche que nous avons suivie. Le gaz est préparé de façon à parvenir pur et sec à l'extrémité d'un tube qu'on met en communication avec un ballon vide. En ouvrant le robinet de ce vase, le gaz se précipite dans son intérieur. On règle sa production et son introduction dans le ballon d'une manière convenable pour qu'il y ait toujours dans l'appareil qui sert à le produire et à le purifier une pression supérieure à la pression ordinaire.

Lorsque le ballon est plein de gaz, on y fait le vide et on le remplit une seconde fois. On suppose alors qu'il est plein de gaz pur, supposition qui n'entraîne aucune erreur appréciable à la balance.

Il faut procéder enfin aux pesées, qui se réduisent à trois : 1° la pesée du ballon plein de gaz; 2° celle du ballon vide; 3° celle du ballon plein d'air sec. Elles peuvent marcher rapidement dans l'ordre indiqué, et elles fournissent, 1° le poids du gaz; 2° le poids d'un volume égal d'air.

Dans cette méthode il devient inutile de connaître la tension exacte du gaz dans le ballon vide; on pourrait même se dispenser de l'observer. La pression du gaz et celle de l'air sont égales à celle de l'atmosphère, et on les mesure sur le baromètre lui-même, qui, à la rigueur, n'a pas besoin d'être exact, puisqu'on n'a pas affaire aux pressions absolues, mais seulement à des pressions très-voisines qu'il s'agit de rendre comparables en les ramenant à l'une d'elles prise comme unité.

Restait à connaître la température propre du gaz et celle de l'air dans lequel flotte le ballon pendant les pesées. C'est là, nous n'en doutons aucunement, que réside le secret des discordances qu'on observe dans les nombres exprimant les densités des gaz donnés par tant de physiciens et de chimistes illustres et si éloignés les uns des autres, que personne n'a jamais osé prendre une moyenne entre eux.

Il est bien probable même que, si dans le plus grand nombre des cas, chaque observateur n'a donné qu'un seul résultat, c'est qu'il a choisi celle d'entre ses expériences qu'il regardait comme la meilleure et qu'il n'a rien dit des autres, considérant les écarts qu'elles offraient comme dus à des impuretés accidentelles de ses gaz.

Pour avoir des températures certaines, constantes, faciles à apprécier, nous avons dû placer dans le ballon un thermomètre qui permît de lire les centièmes de degré. La tige de ce thermomètre est engagée dans un tube de verre interposé entre la douille de ce ballon et son robinet. L'observateur peut donc lire la température exacte du gaz, sans avoir besoin de sortir le ballon de l'enceinte où il s'est mis en équilibre de température, *Pl. II, fig.* 3.

Cette enceinte ou cave artificielle est formée d'un grand vase cylindrique en zinc dont la paroi intérieure se trouve à 2 décimètres de la paroi extérieure. L'espace annulaire qu'elles laissent entre elles, l'espace compris entre le fond intérieur et le fond extérieur, sont remplis d'eau. L'ouverture de la cave est fermée par un couvercle mobile dans l'épaisseur duquel est logée une couche d'eau d'une épaisseur de 2 décimètres, *Pl. III, fig.* 1 *et* 2.

Le ballon logé dans cette enceinte se trouve entouré par conséquent d'une enveloppe d'eau de 2 décimètres, dont on connaît la température à un centième de degré près. Le ballon étant d'ailleurs muni d'un thermomètre qui indique sa température intérieure avec la même préci-

sion, il suffit d'attendre que les deux thermomètres soient d'accord pour avoir la certitude que le gaz possède partout la même température, à un centième de degré près. Cet accord, toutefois, n'arrive jamais à être absolu. Le thermomètre du ballon est toujours plus haut que celui de l'enceinte. Mais quand la différence n'est plus égale qu'à trois ou quatre centièmes de degré, et que le thermomètre du ballon est demeuré stationnaire pendant trois quarts d'heure, nous regardons l'accord comme établi.

Il n'y aurait pas d'intérêt à pousser plus loin la précision à cet égard, par la raison que dans nos ballons les plus volumineux une erreur d'un centième de degré ne correspond qu'à une erreur sur le poids de $\frac{1}{10}$ de milligramme, poids qu'une balance chargée de 1 ou 2 kilogrammes n'apprécie plus.

Au moment où l'on ferme le robinet du ballon, on connaît donc la pression du gaz au vingtième de millimètre, puisqu'elle est égale à celle de l'air extérieur exprimée par le baromètre, et l'on peut répondre de sa température au centième de degré.

Cette simplicité et cette certitude dans les deux déterminations dont il s'agit, n'ont jamais été obtenues dans les expériences d'où l'on a déduit les densités du gaz. Relativement à la pression, parce qu'on recevait toujours le gaz d'un réservoir dont la pression intérieure exigeait une observation distincte de celle du baromètre et toujours bien moins exacte; relativement à la température, parce qu'on a toujours évalué celle du gaz au moyen d'un ou plusieurs thermomètres placés dans le voisinage du ballon, ce qui a pu causer des erreurs considérables. Les gaz, en se précipitant dans le ballon, s'échauffent, et rien n'indique le moment où l'équilibre est rétabli, si l'on n'a muni le ballon d'un thermomètre intérieur. Enfin, rien ne donne la mesure exacte des températures intérieures du ballon, si celui-ci demeure exposé aux rayonnements extérieurs et s'il n'est

pas plongé dans une enceinte à température fixe comme celle dont nous avons fait usage.

Pour avoir le poids exact du ballon, il faut des p cautions du même ordre.

En effet, quand le ballon est suspendu au crochet de la balance, et que l'observateur s'en approche pour peser, il échauffe le ballon et l'air qui l'entoure : des courants s'établissent ; le poids apparent du ballon varie sans règle et dans des limites qui détruisent toute idée de précision absolue.

Nous avons fait usage d'une balance de Fortin, construite avec le plus grand soin par M. Deleuil, balancier de la Monnaie. Elle est placée sur une large armoire doublée en plomb et garnie à l'intérieur d'une couche de chaux vive qui y maintient l'air à un état hygrométrique constant. Le ballon suspendu au crochet de la balance flotte dans cette armoire, et les portes de celle-ci étant fermées, il est à l'abri de tous les rayonnements extérieurs. Un thermomètre qui donne les centièmes de degré, placé à côté du ballon, donne immédiatement la température de l'air de l'armoire ; un baromètre placé à côté d'elle donne sa pression, *Pl. IV*.

En général, nous ne pouvons par peser un ballon deux fois de suite de manière à trouver le même poids apparent ; mais, en général aussi, la température de l'air de l'armoire a subi des changements de quelques centièmes de degré, et, correction faite, les pesées coïncident. Si l'observateur ne pouvait pas tenir compte de la température de l'air avec l'extrême précision que nous y portons, il serait conduit à prendre une moyenne entre des pesées discordantes en apparence, et sa moyenne serait fausse ; tandis qu'en réalité les pesées étaient très-justes et ne demandaient qu'une correction de température pour se montrer parfaitement d'accord entre elles.

Au moyen de ces procédés, nous avons pris d'abord la densité de l'oxygène, et nous l'avons prise un si grand

nombre de fois, qu'il nous est démontré avec la dernière évidence que la densité 1,1026, donnée par MM. Berzélius et Dulong, ne peut être conservée et s'éloigne plus qu'aucune autre de la vérité, comme le craignait du reste M. Dulong.

Les expériences que nous avons exécutées les dernières, et où nous avions réuni tous les moyens propres à en assurer la parfaite exactitude, ont été faites avec de l'oxygène préparé par un mélange d'acide sulfurique concentré et de peroxyde de manganèse. Le gaz se purifiait en passant à travers des tubes ou flacons garnis de potasse liquide; il se desséchait en traversant des tubes ou flacons garnis d'acide sulfurique concentré et pur. (*Pl. III, fig.* 1.)

On remplissait le ballon une première fois d'oxygène, et l'on y faisait le vide ensuite pour le remplir une seconde fois. Ordinairement, on se bornait à ce second remplissage; le calcul prouve qu'un troisième était inutile : l'expérience suivante ne laisse aucun doute à cet égard.

Ballon rempli d'oxygène pour la deuxième fois.

1387,948 plein d'oxyg. à 18°,5o et o,7660, pesé dans l'air à 18°,5o et o,7660.

Ballon rempli d'oxygène pour la troisième fois.

1387,953 plein d'oxyg. à 18°,45 et o,7659, pesé dans l'air à 18°,5o et o,7659.

En ramenant la seconde pesée à ce qu'elle eût été dans les circonstances où s'est faite la première, on aurait

Première pesée 1387,948,
Deuxième pesée..... 1387,951.

Ainsi la pesée du ballon où l'on a renouvelé trois fois l'oxygène diffère de la pesée du ballon où le gaz n'a été renouvelé que deux fois d'environ 2 ou 3 milligrammes, différence inévitable presque entre deux pesées successives d'un même ballon.

Nous ajouterons ici l'indication d'une précaution très-

importante. Quand le ballon est plein de gaz, que la pression est rétablie, on attend avant d'en fermer le robinet que la température soit devenue stationnaire. Alors on ferme le ballon, on observe de suite la température et la pression indiquée par le baromètre.

On porte le ballon dans la cage de la balance, et on l'y laisse une demi-heure au moins pour qu'il en prenne la température à peu près. On l'essuie avec soin et l'on commence les pesées. Les premières sont souvent incorrectes; mais ensuite elles se régularisent, et en pesant quatre ou cinq fois de suite le ballon, on retrouve exactement le même poids, correction faite de la température de la cage. Nous ne regardons la pesée comme assurée, qu'autant que cette dernière condition se trouve remplie. Ordinairement quand on commence les pesées, le ballon se montre trop lourd, probablement par suite du dépôt d'un peu d'eau hygrométrique sur sa surface extérieure, et souvent au contraire parce qu'il est bien sec, et qu'en l'essuyant on l'a électrisé. Cet accident est bien plus fréquent qu'on ne pense. Alors le ballon décompose par influence l'électricité des corps voisins, et se trouve attiré par eux.

Ainsi, quoique nous n'indiquions ici qu'une seule pesée du ballon plein ou vide, il est bien entendu qu'on a répété ces pesées quatre ou cinq fois, et qu'on s'est assuré que les variations du poids apparent du ballon étaient parfaitement d'accord avec les variations de la température de l'air de la cage; sans parler de la pression qui ordinairement ne change pas pendant la durée de ces opérations.

Voici les trois dernières expériences que nous avons exécutées sur la densité de l'oxygène.

Densité de l'oxygène.

gr.
1387,955 poids du ballon plein d'oxygène à 18°,45 et 0,7659, pesé dans l'air à 18°,50;
1379,173 poids du ballon vide à 18°,45 et 0,7659, pesé dans l'air à 18°,75;

1387,120 poids du ballon plein d'air sec à 18°,40 et 0,7659, pesé dans l'air à 18°,60.

Densité = 1,1055.

1387gr,980 poids du ballon plein d'oxygène à 18°,05 et 0,7630, pesé dans l'air à 19°,28;
1379,256 poids du ballon vide pesé dans l'air à 0,7634 et à 19°,45;
1387,157 poids du ballon plein d'air sec à 17°,90 et 0,7641, pesé dans l'air à 19°,25.

Densité = 1,1058.

1387,933 poids du ballon plein d'oxygène à 18°,5 et 0,7670, pesé dans l'air à 17°,52;
1379,142 poids du ballon vide pesé dans l'air à 0,7667 et à 17°,70;
1387,102 poids du ballon plein d'air sec à 18°,38 et 0,7664, pesé dans l'air à 17°7.

Densité = 1,1057.

Première expérience.....	1,1055
Deuxième expérience.....	1,1058
Troisième expérience.....	1,1057
	3,3170
Moyenne.....	1,1057

Cette valeur s'accorde presque exactement avec la densité adoptée par M. Th. de Saussure, 1,1056. Elle se rapproche beaucoup aussi de l'ancienne densité de MM. Biot et Arago, 1,1036; et si celle-ci se montre un peu plus faible, cela tient sans nul doute, à ce que le gaz oxygène préparé avec tant de soin et de scrupule par M. Thenard, pour les expériences de MM. Biot et Arago, s'était souillé d'un peu d'air en traversant l'eau qui a servi à le transvaser (1).

Les expériences nombreuses d'ailleurs que nous avons faites, et que nous ne rapportons pas, sur cette densité oscilleraient entre 1,105 et 1,107. Jamais nous n'avons obtenu un nombre aussi bas que celui de MM. Berzélius et Dulong, ni un nombre aussi haut que celui de MM. Thomson et

(1) Voici les diverses densités attribuées à l'oxygène :

1,087 Fourcroy, Vauquelin, Seguin;	1,1036 Biot et Arago;
1,088 Allen et Pepys;	1,1056 Th. de Saussure;
1,1026 Berzélius et Dulong;	1,1111 Thomson;
1,103 Kirwan;	1,128 H. Davy.

Davy; nous demeurons parfaitement convaincus de leur inexactitude, surtout en ce qui concerne le premier.

Si dans ces premières expériences que nous avons rejetées, les écarts sont de 1,105 à 1,107, cela tient à ce que nous n'avions pas encore adopté l'emploi de la cave, ni celui du thermomètre engagé dans le ballon, et susceptible d'être observé à l'aise et sans erreur. Nous commettions donc des fautes sur la température de notre gaz, que nous sommes parvenus à éviter.

La correction que nous venons de faire subir à la densité de l'oxygène, loin de rétablir l'accord entre la composition de l'air que nous avons déterminée par des expériences précises et les densités de l'oxygène et de l'azote, ne fait qu'accroître l'écart que nous avons mis en évidence plus haut. En effet, on aurait

$$\frac{2300}{1,1057} = 20,80 \text{ volume de l'oxygène,}$$

$$\frac{7700}{0,976} = 78,89 \text{ volume de l'azote;}$$

$$99,69 \text{ volume de l'air au lieu de } 100,00.$$

C'est-à-dire qu'avec notre composition de l'air, notre densité de l'oxygène et la densité de l'azote de MM. Berzélius et Dulong, on ne peut plus représenter la densité de l'air. L'erreur est énorme, car pour un élément de cette importance, c'est une erreur énorme que $\frac{1}{3}$ p. 100 environ.

Cela tient à ce que MM. Berzélius et Dulong ayant admis une composition de l'air à peu près semblable à celle que nous trouvons nous-mêmes, ils ont été conduits à compenser par une densité trop élevée de l'azote, la densité beaucoup trop faible de l'oxygène à laquelle ils s'étaient arrêtés.

Nous avons pris la densité de l'azote au moyen de l'azote extrait de l'air lui-même par le cuivre, et en absorbant l'acide carbonique et l'eau à l'aide de la potasse et de l'acide sulfurique. L'appareil représenté *Pl. II, fig.* 1 et 2, n'offre

rien de particulier, si ce n'est un petit ballon auxiliaire par l'intermédiaire duquel le grand ballon est mis en communication avec l'air extérieur, au moment où l'on équilibre la pression. Voici les résultats de trois expériences.

Densité de l'azote.

1401,190 poids du ballon plein d'azote à 19°,3 et à 0,764, pesé dans l'air à 12°,2;
1388,032 poids du ballon vide pesé dans l'air à 12°,5;
1401,190 poids du ballon plein d'air sec à 13° et à 0,761, pesé dans l'air à 13°,0 et à 0,761.

Densité = 0,970.

1397,692 poids du ballon plein d'azote à 11°,5 et 0,7568, pesé dans l'air à 10°,0;
1385,018 poids du ballon vide pesé dans l'air à 10°,5;
1398,075 poids du ballon plein d'air sec à 11°,5 et 0,7568, pesé dans l'air à 10°,5.

Densité = 0,972.

1183,346 poids du ballon plein d'azote à 11°,60 et 0,7505, pesé dans l'air à 13°,80;
1175,608 poids du ballon vide pesé dans l'air à 14°,00;
1183,540 poids du ballon plein d'air sec à 12°,00 et 0,7505, pesé dans l'air à 13°,95.

Densité = 0,974.

Première expérience.... 0,970
Deuxième expérience.... 0,972
Troisième expérience... 0,974

Moyenne..... 0,972

En adoptant cette densité, celle de l'oxygène et le rapport en poids par lequel nous avons représenté la composition de l'air, on trouve les nombres suivants :

$$\frac{2,300}{1,1057} = 20,80 \text{ volume de l'oxygène;}$$

$$\frac{7,700}{0,972} = 79,22 \text{ volume de l'azote;}$$

$$100,02 \text{ volume de l'air;}$$

qui représentent à $\frac{2}{10000}$ près la densité de l'air prise pour unité.

En prenant les nombres tels que les expériences les donnent

$$\frac{2,301}{1,1057} = 20,81 \text{ volume de l'oxygène;}$$

$$\frac{7,699}{972} = 79,19 \text{ volume de l'azote;}$$

$$\overline{100,00} \text{ volume de l'air;}$$

l'accord deviendrait absolu.

Cependant nous admettrons comme suffisamment approchée l'expression de la composition de l'air qui consiste à le considérer comme étant formé en volumes de 20,8 d'oxygène pour 79,2 d'azote.

Cette expression s'éloigne peu, comme on voit, de l'opinion commune, et néanmoins elle a exigé les corrections les plus graves sur les densités de l'azote et de l'oxygène pour ressortir de la composition pondérale de l'air.

En considérant, pour un moment, comme l'air normal celui que nous avons recueilli vers la fin d'avril par un temps sec et beau, aux environs du Jardin des Plantes, nous pouvions donc regarder maintenant sa composition comme parfaitement établie à moins d'un millième en poids ou en volume à volonté.

Mais cette composition doit varier. Quand il pleut, l'eau qui se condense dissout et entraîne plus d'oxygène que d'azote. Quand il gèle, l'eau abandonne ces mêmes gaz; l'eau qui s'évapore les rend aussi à l'atmosphère. Les combustions, la respiration des animaux enlèvent de l'oxygène à l'air; les plantes par leurs parties vertes lui en rendent chaque jour sous l'influence solaire. Ces causes, et bien d'autres sans doute, tendent à troubler l'équilibre des éléments de l'atmosphère dans un point donné, les unes dans un sens, les autres dans le sens opposé. Restait donc à savoir si la ten-

dance qu'ont les gaz à se mêler, aidée par les courants verticaux que la différence de température excite, favorisée par les vents qui transportent et confondent sans cesse au loin les couches horizontales de l'air, ne ferait pas disparaître rapidement la différence momentanée résultant de l'action locale des causes que nous venons d'indiquer sommairement.

Des expériences dirigées dans ce sens exigeraient pour être positives un temps que nous ne pouvions y consacrer et l'intervention d'appareils que nous ne possédons pas encore. En exécutant nos essais, nous avons donc eu surtout en vue de chercher la limite au-dessous de laquelle il serait inutile d'en entreprendre de telles.

Toutes les expériences rapportées précédemment ayant été faites par un temps sec et beau, nous les avons répétées par un jour de pluie; l'oxygène de l'air étant entraîné en dissolution par l'eau, en proportion plus forte que l'azote, cette circonstance promettait des différences plus appréciables qu'aucune de celles que nous pouvions imaginer. Nous n'avons pu réaliser notre désir malheureusement qu'à une distance un peu éloignée de nos premières analyses. Voici nos résultats :

29 MAI. — *Grand ballon.*

Pluie six heures avant et pendant toute la durée de l'expérience.

Poids du tube plein de cuivre et vide d'air		640gr,933	
Poids du tube après l'expérience et plein d'azote		646 ,633	
Poids du tube vide d'azote		646 ,581	
Poids du ballon contenant l'azote	1480gr,948 à 22°,80 et 0,7620		
Poids du ballon vide	1462 ,121 à 23°,00 et 0,7621		
Poids de l'oxygène		58r,648	23,015
Poids de l'azote : du tube	0,052	18 ,892	76,985
Poids de l'azote : du ballon	18,840		
Air analysé		24 ,540	100,000

Ainsi, tandis que la moyenne de nos six expériences par un beau temps donne

23o,10 d'oxygène pour 100,000 d'air ;

nous trouvons, par une pluie continue,

230,15 d'oxygène pour 100,000 d'air,

c'est-à-dire exactement la même proportion. On pourrait supposer, il est vrai, que la différence de saison a compensé la différence produite par la pluie; mais ce sont là des nuances trop délicates pour être mises en évidence autrement que par une suite d'expériences nombreuses exécutées avec soin dans un laboratoire consacré à de telles études météorologiques. Il nous est démontré du moins que l'oxygène ne varie pas d'un millième sous l'influence de la pluie; résultat qu'on expliquera, si l'on veut, en disant qu'avant de parvenir à 4 mètres du sol, hauteur à laquelle nous puisions l'air pour l'analyse, l'eau pluviale s'était déjà saturée d'air dans les régions supérieures de l'atmosphère qu'elle avait traversées. Mais en ce cas, l'analyse n'apprendrait quelque chose qu'à condition de lancer à une hauteur considérable un ballon destiné à porter dans la couche d'air où la pluie se précipite, le tube aspirateur qui fournit à l'appareil l'air destiné à l'analyse.

La quantité d'oxygène varie-t-elle avec la hauteur? Rien ne l'annonce jusqu'ici, et l'on est parfaitement autorisé à croire le contraire par des expériences positives.

L'air rapporté par M. Gay-Lussac d'une hauteur de 7000 mètres environ, fut soumis à l'analyse par notre illustre confrère et par M. Thenard. On ne savait point alors, comme aujourd'hui, avec quelle facilité l'hydrogène se souille d'air au contact de l'eau. Aussi les analyses indiquent-elles un peu trop d'oxygène, 21,65. Mais comme on eut la précaution d'analyser en même temps, de la même manière, avec le même hydrogène, l'air pris dans la cour du palais Bourbon, il demeure démontré, par l'identité des résultats, que l'air pris au niveau du sol et celui que M. Gay-Lussac avait puisé à 7000 mètres avaient en ce moment la même composition dans les limites de précision que comporte l'eudiomètre.

Les nombreuses analyses exécutées en Amérique par l'un de nous, se représentent en moyenne par les nombres suivants :

		Oxygène pour 100 en volumes.
à Santa-Fé de Bogota, à	2650^{m}...	20,65
à Ibaqué,	1323....	20,70
à Mariquita,	548....	20,77
Moyenne.....		20,70

Ces résultats s'accordent, comme on voit, avec ceux que nous venons de trouver pour la composition de l'air pris à Paris. Ils indiquent du moins que les différences, s'il y en a, ne sont pas de l'ordre des différences indiquées par la théorie, les calculs et même les expériences de Dalton.

Le Dr Dalton a publié, en effet, une série d'expériences variées et nombreuses, desquelles il résulterait que le rapport de l'oxygène à l'azote n'est pas le même dans toutes les localités à la surface de la terre ; qu'il varie avec les saisons et avec les hauteurs. Ses analyses démontreraient qu'à mesure qu'on s'élève dans l'atmosphère, l'oxygène y diminue d'une manière très-notable, quoique moindre que celle qui serait indiquée par sa théorie, ce qu'il attribue aux effets inévitables de l'agitation de l'atmosphère. Voici les principaux résultats auxquels il est parvenu :

	Oxygène pour 100 en volumes.		
Montagne d'Helvellyn, 900 mètres.....	20,70	Manchester	20,88
Idem. *Idem*.....	20,58	*id.*	21,10
Sur le Showdon, 1050 mètres.....	20,65	*id.*	20,80
Air pris en ballon à 2880 mètres.....	20,52	*id.*	20,92
Idem à 4500 mètres.....	20,59	*id.*	20,95
Air pris à la mer de glace, vallée de Chamounix.....	20,20		
Air du Simplon.....	19,98		
Wengern-Alp.....	20,45		
Idem.....	20,11		

En étudiant ces nombres, on voit que parmi les analyses de M. Dalton, celles qu'il a faites sur l'air recueilli

se trouvent comprises dans les limites possibles des erreurs de l'eudiomètre à l'hydrogène; celles qui ont été exécutées avec de l'air rapporté des Alpes s'en éloignent au contraire beaucoup. Faut-il attribuer ces différences à une altération accidentelle de l'air ou à une modification réelle dans la composition de l'atmosphère des lieux élevés? C'est ce que nous désirions très-vivement éclaircir.

Pour cela, il fallait comparer l'air analysé à une hauteur un peu considérable, et par des moyens analogues aux nôtres, avec celui que nous avions analysé nous-mêmes. Nous avons donc saisi avec un vif empressement le moyen d'utiliser dans ce but les excellentes observations du professeur Brunner, de Berne. Ce chimiste habile et plein de dévouement aux progrès de la science, a été passer quelques semaines au sommet du Faulhorn, une des montagnes de l'Oberland bernois, dans une maison située à une hauteur de 1950 mèt., et là il s'est livré chaque jour à l'analyse de l'air. Comme le Faulhorn et le Wengern-Alp font partie de la même masse de montagnes, les expériences de M. Brunner peuvent servir de contrôle aux analyses que M. Dalton a faites sur l'air pris dans cette localité.

Au premier abord, les analyses de M. Brunner et les nôtres paraîtraient peu comparables. En effet, l'habile professeur de Berne enlève l'oxygène à l'air au moyen du phosphore, et il apprécie cet oxygène par la pesée. Mais comme dans chacune de ses expériences le poids de l'oxygène ne dépasse guère 120 ou 130 milligrammes, l'erreur qu'il peut commettre à son sujet doit s'élever au moins à $\frac{1}{100}$ et même à $\frac{1}{80}$.

Quant à l'azote, M. Brunner le mesure, et il en déduit le poids d'après sa densité.

Ainsi pratiquée, sur une échelle évidemment trop faible, cette méthode indiquerait des variations dans l'oxygène qui iraient de 20,8 à 21,1 en volume pour 100 d'air. Mais,

comme on le voit, cette différence peut tenir aux erreurs des pesées, car elle ne dépasse pas $\frac{1}{70}$ et se trouve à peu près comprise dans les erreurs présumables de l'expérience même. D'ailleurs les nombres extrêmes sont identiques avec ceux que donne l'analyse eudiométrique à Berne ou à Paris.

Mais autant il était difficile de tirer parti des expériences partielles de M. Brunner, autant elles sont devenues précieuses quand nous les avons considérées dans leur ensemble. En effet, en les réunissant pour en faire une expérience unique, les erreurs de pesée ont dû se compenser; et si, comme nous le pensons, la composition de l'air varie peu d'un jour à l'autre, il n'importe guère que cette expérience ait duré quatorze jours ou bien qu'elle ait été faite d'un seul coup.

M. Brunner, dans ses quatorze expériences, a recueilli chaque fois 455,07 cent. cubes d'azote sec, en tout 6510,93, à une pression moyenne de 0,556131 et à une température moyenne de 11°,92.

Ces nombres représentent 4562,32 cent. cubes d'azote à 0° et 0,76, c'est-à-dire en poids 5^{gr},7649, la densité de l'azote étant égale à 0,972.

La somme des quatorze déterminations d'oxygène donne 1^{gr},723 pour le poids total de ce gaz.

Ainsi, au sommet du Faulhorn, pendant le mois de juillet 1833, l'air renfermait les éléments suivants :

Oxygène.....	1,7230	23,010
Azote.....	5,7649	76,990
	7,4879	100,000

tandis que nous trouvons 23010 comme moyenne de nos analyses; M. Brunner aurait donc trouvé 23010, comme moyenne des siennes. Qu'on prenne du reste 23010 ou bien 23015 qui résulteraient de nos meilleures expériences, il est clair que des différences de cet ordre tiennent à de simples erreurs d'observation ou se confondent avec elles.

Il est peu probable que pendant la durée des expériences

de M. Brunner, il y ait eu des variations de composition dans l'air du Faulhorn, quoique ses expériences partielles en indiquent de légères, que nous attribuons aux erreurs de pesée. Il demeure donc démontré pour nous que la composition de l'air au sommet de cette montagne était précisément la même que nous trouvons à Paris en ce moment, notre assertion étant renfermée dans les limites que l'observation peut atteindre, c'est-à-dire au millième près, car nous ne voulons pas aller plus loin, quoique les chiffres permettent de le faire.

Le procédé de M. Brunner a reçu tout récemment une application dans une localité intéressante, à cause de la distance qui la sépare de Paris et de Berne : c'est Groningue. L'auteur, M. B. Verver, n'indique pas l'année de ses expériences par inadvertance, mais tout porte à croire qu'elles ont eu lieu en 1839. Elles ont été exécutées d'ailleurs dans le courant de mai et d'août.

Elles conduisent précisément à la même conséquence, car d'après l'ensemble des expériences de M. Verver, l'air renfermerait à Groningue, en poids 22,998, d'oxygène ou 23, comme nous le trouvons à Paris, et comme le trouve M. Brunner à Berne ou au Faulhorn.

Ainsi, sans prétendre que les opinions du docteur Dalton sur la constitution de l'atmosphère soient mal fondées, il demeure démontré pour nous que par l'effet de la diffusion des gaz, par les diverses causes d'agitation qui tendent sans cesse à mêler les couches de l'air entre elles, la différence qui pourrait exister avec l'oxygène et l'azote à diverses hauteurs devient insensible.

Si la composition de l'air ne varie point avec la hauteur, si elle ne fait découvrir aucun changement appréciable quand on en fait l'analyse en deux points situés à quelque distance, en est-il de même lorsque l'on compare le rapport des gaz qui le constituent à deux époques un peu éloignées?

Cette question pleine d'intérêt a déjà excité la sollicitude

de Laplace et celle de M. Thenard. Nos deux illustres confrères auraient désiré qu'une analyse de l'air, exécutée de temps en temps d'une manière officielle, permît de fixer pour une époque donnée la véritable constitution de l'atmosphère et d'en suivre les modifications s'il s'en était présenté.

Si l'Académie n'a pas jusqu'ici rempli ce désir, c'est, il faut se hâter de le dire, que les méthodes analytiques étaient à cet égard tout à fait impuissantes. Nous ferons voir même, bientôt, que si le procédé que nous venons d'employer n'était pas convenablement modifié, il n'offrirait aucune chance pour découvrir les variations que la composition de l'air est susceptible d'éprouver par les causes qui agissent actuellement à la surface du globe, et dont l'effet ne saurait atteindre les limites dans lesquelles se trouvaient bornées les anciennes analyses de l'air ou même celles que nous venons d'exécuter.

Ce n'est donc pas dans les anciennes analyses de l'air que nous pouvions trouver quelques termes de comparaison propres à vérifier les doutes relatifs à la permanence de la constitution de l'atmosphère.

Mais il nous a paru que le poids du litre d'air, pris avec tant de soin par MM. Biot et Arago, offrait un excellent terme de comparaison. Si ce poids n'est plus le même aujourd'hui, c'est que sans doute la composition de l'air se trouve changée; mais si ce poids n'a pas varié, il doit être permis d'en conclure que la composition de l'air est demeurée telle qu'elle était il y a quarante ans. Comme le poids du litre d'air a été déterminé à $\frac{1}{1000}$ près environ, la précision que cette comparaison comporte surpasse celle qu'on obtiendrait par tout autre procédé.

Nous avons cherché à rendre cette comparaison aussi sûre que possible, en prenant un ballon à peu près de la même capacité que celui qui avait servi à MM. Biot et Arago; en faisant nos pesées à la même température qu'eux;

fet de la respiration des animaux ou par la putréfaction des matières organiques, cette consommation attribuée aux hommes soit quadruplée.

Supposons de plus que l'oxygène dégagé par les plantes vienne compenser seulement l'effet des causes d'absorption d'oxygène oubliées dans notre estimation ; ce sera mettre bien haut à coup sûr les chances d'altération de l'air.

Eh bien, dans cette hypothèse exagérée, au bout d'un siècle tout le genre humain réuni, et trois fois son équivalent, n'auraient absorbé qu'une quantité d'oxygène égale à 15 ou 16 cubes de cuivre de 1 kilomètre de côté, tandis que l'air en renferme près de 134,000.

Ainsi, prétendre qu'en y employant tous leurs efforts, les animaux qui peuplent la surface de la terre pourraient en un siècle souiller l'air qu'ils respirent au point de lui ôter la huit-millième partie de l'oxygène que la nature y a déposé, c'est faire une supposition infiniment supérieure à la réalité.

Rien de plus facile à vérifier que cette conclusion dans ce qu'elle a de général.

La respiration des animaux produit de l'acide carbonique ; les plantes le détruisent, en s'emparant du carbone et restituant l'oxygène à l'air. Les modifications que l'air peut éprouver sous le rapport de l'oxygène seront donc tout au plus du même ordre que les modifications qu'on observe dans l'air sous le rapport de l'acide carbonique.

Or il a été facile d'estimer rigoureusement le poids de l'acide carbonique contenu dans l'air, au moyen de la méthode générale imaginée à ce sujet par M. Thenard, et qui consiste à peser à l'état de carbonate, l'acide carbonique fourni par un grand volume d'air qu'on mesure avec soin. Cette méthode, modifiée dans ses détails par MM. de Saussure et Brunner, a permis d'établir que l'acide carbonique de l'air varie à peu près en volume de $\frac{4 \text{ à } 6}{10000}$. En suppo-

sant que cet acide carbonique vienne de l'oxygène fourni par l'air et qu'il n'ait rien de commun avec celui que les volcans émettent, sans cesse, la différence de ces nombres qui est égale à $\frac{2}{10,000}$ du volume de l'air exprimerait la variation que l'oxygène aurait éprouvée. Ainsi dans

10 000 volumes d'air on trouverait 2081 } d'oxygène.
ou bien 2083 }

Cette différence serait évidemment inappréciable, si l'on se bornait à analyser 10 grammes et même 25 grammes d'air; comme nous l'avons fait, puisqu'elle serait représentée par 2 ou 3 milligrammes environ.

En opérant sur 100 grammes d'air, la différence deviendrait égale à 20 ou 30 milligrammes;

En opérant sur 1000 grammes d'air, elle serait représentée par 200 ou 300 milligrammes.

Il faut en arriver là, si l'on veut que l'analyse de l'air puisse réellement devenir de quelque utilité dans la discussion des lois générales de la physique du globe.

Mais comme nous n'avons aucun moyen de peser un mètre cube d'azote, il faut évidemment transformer le procédé que nous venons de décrire en un autre où l'azote sera mesuré et où l'oxygène seul sera pesé.

Il faut placer dans une cave un appareil d'un mètre cube plein d'eau, et la faire écouler en aspirant ainsi, pour la remplacer l'azote de l'air, qui aura perdu son oxygène en passant au travers d'une série de tubes pleins de cuivre et chauffés au rouge. Il suffirait de trois tubes contenant chacun 1 kilogr. de cuivre pour dépouiller d'oxygène 1 mètre cube d'azote.

En pesant ces trois tubes, ils feront connaître l'oxygène de l'air avec une précision digne de l'état actuel des sciences, car on aura fixé 376000 milligrammes d'oxygène, et en exé-

cutant une dixaine d'expériences, on pourra déterminer l'oxygène à $\frac{1}{300,000}$ près avec sécurité.

Le point délicat de ces expériences consiste à mesurer l'azote à une température exacte. En plaçant l'appareil aspirateur dans une cave à température invariable, comme la cave de l'Observatoire, cette condition sera parfaitement remplie.

Parmi les phénomènes relatifs à la composition de l'air dans quelques circonstances particulières, il en est quelques-uns qui touchent à des questions d'hygiène, et sous ce rapport les variations de l'acide carbonique ou de l'oxygène dans des lieux habités, la présence et la proportion d'acide sulfhydrique au milieu des villes, occupent le premier rang. Cette étude fera l'objet d'un Mémoire spécial, les expériences exigeant l'emploi de cet appareil aspirateur maintenant en construction.

D'autres faits relatifs à la constitution générale de l'atmosphère seront examinés par la même occasion et à l'aide des mêmes moyens. Ils concernent la présence dans l'air de l'ammoniaque et celle du gaz des marais; deux corps qui s'y trouvent en effet et qui y jouent un rôle important. Leur proportion, très-délicate à déterminer, a déjà été l'objet de quelques expériences de notre part. Relativement au gaz des marais, nous pouvons assurer que sa proportion dans l'air de Paris ne dépasse pas celle que l'un de nous a déjà trouvée dans l'air pris à Lyon. Elle est donc très-inférieure dans ces deux localités à celle que M. Verver attribue, d'après ses expériences, à l'air pris à Groningue.

En résumé, nos recherches corrigent les erreurs commises sur la densité de l'oxygène et celle de l'azote, et fixent la densité de l'oxygène à 1,1057 et celle de l'azote à 0,972.

Elles font voir que l'air ne peut nullement être regardé

comme un composé chimique formé de 20 volumes d'oxygène pour 80 d'azote;

Elles font présumer que l'air est un mélange uniforme à toute époque, à toute latitude et à toute hauteur de 2301 d'oxygène en poids pour 7699 d'azote; ou bien de 20,81 d'oxygène en volume pour 79,19 d'azote;

Elles montrent que s'il est vrai que les plantes soient chargées de détruire par leurs parties vertes et sous l'influence solaire, l'acide carbonique fourni par les animaux, cette intervention n'est pas aussi immédiatement nécessaire qu'on le suppose; puisque dans le cas le plus exagéré, il ne s'écoulerait guère moins de 800 000 années avant que la masse de l'air eût été dépouillée d'oxygène par les animaux vivants à la surface de la terre.

D'où il suit que si l'air atmosphérique constitue un réservoir d'oxygène à l'usage des animaux et un réservoir d'acide carbonique à l'usage des plantes, ce magasin est si considérable, si richement doté eu égard à la dépense, que celle-ci, en supposant qu'elle ne fût pas compensée, demeurerait presque insensible sur la masse, même après une longue suite d'années;

D'où il suit encore que la chance d'apprécier des différences réelles par l'analyse de l'air, quant à la proportion moyenne d'oxygène et d'azote, est à peu près nulle, si l'on ne prend des dispositions convenables pour exécuter cette analyse sur un kilog. et demi d'air environ.

Au moment où nous venions de faire connaître à l'Académie le résultat de nos recherches sur la composition de l'air, M. Martins, professeur agrégé de la Faculté de Médecine de Paris, et M. Bravais, professeur à la Faculté des Sciences de Lyon, nous proposèrent leur coopération pour recueillir de l'air pendant un séjour de quelques semaines qu'ils allaient faire au Faulhorn. Cette localité, déjà choisie par M. Brunner, nous offrait quelque intérêt sous ce point de vue. De

plus, elle pouvait se lier plus aisément qu'aucune autre aux observations correspondantes que nous espérions obtenir de M. Brunner lui-même pour la station de Berne. Son obligeance ne nous a pas fait défaut.

Un plan fut donc arrêté entre nous. Des analyses devaient être faites à Paris et à Berne, à des époques déterminées, tandis qu'au sommet du Faulhorn, MM. Bravais et Martins devaient recueillir de l'air aux mêmes époques.

A cet effet, on expédia de Paris des ballons vides d'air à 0,005 environ; la machine pneumatique dont nous pouvions disposer pour le moment n'atteignait pas un vide meilleur dans des vases qui avaient environ 20 litres de capacité chacun. Ces vases étaient fermés, comme on le voit en détail dans la *Pl. V*, *fig.* 3, au moyen d'une garniture en caoutchouc épais, maintenue par un cône solide.

On place sur le col du ballon le cône en corne, et par-dessus celui-ci le cône en caoutchouc que l'on serre fortement sur le col du ballon avec du lacet de soie. On engage ensuite le bout du robinet dans l'orifice opposé, et on le serre de son côté avec le même lacet. Le vide fait dans le ballon, on coiffe le robinet avec le dé, *fig.* 2, et l'on serre le dé de caoutchouc sur le disque *ee*, *fig.* 1, ce qui soustrait le robinet au contact de l'air.

On va voir tout à l'heure que ces précautions ont suffi pour les expériences dont il s'agit. Cependant, les recherches de M. Graham et celles plus récentes de M. Peyron ayant montré que le caoutchouc permet la diffusion des gaz, nous avons dû nous mettre à l'abri de cette difficulté pour des transports d'air à plus grandes distances. La *fig.* 5 de la *Pl. V* montre la disposition à laquelle nous nous sommes arrêtés. Elle consiste à recouvrir tout notre système de fermeture par un large boyau de caoutchouc qu'on remplira d'huile et qui se ferme à l'aide d'un robinet.

Ainsi, se trouveront réunis les avantages du caoutchouc sous le rapport de la flexibilité, de la résistance aux chocs

et aux changements de température qui font éclater les mastics, et ceux d'une imperméabilité durable que les expériences de M. Chevreul garantissent.

Ce sac plein d'huile n'avait pas été adapté aux ballons expédiés en Suisse; on va voir pourtant que ceux-ci avaient gardé le vide d'une manière suffisante à notre objet, sinon absolue.

A mesure que les époques convenues arrivaient, MM. Martins et Bravais vérifiaient le vide de chacun des ballons en le mettant en communication avec un tube barométrique dont la hauteur était soigneusement comparée à celle du baromètre lui-même, *Pl. V, fig. 6.* Cette vérification présentait une cause d'erreur inévitable, due à la petite portion d'air comprise entre le robinet du ballon et celui du tube barométrique; celle-ci s'introduisant nécessairement dans le ballon au moment où l'on établissait la communication entre les deux appareils. Du reste, nous allons laisser parler MM. Martins et Bravais.

« Nous avons vérifié le vide de onze ballons, et si l'on tient compte des erreurs d'observation inévitables, ces vérifications prouvent que le vide est resté ce qu'il était à Paris. Dans l'un d'eux, le n° 11, l'air s'est introduit avant cette vérification, le robinet du tube recourbé étant resté ouvert. Au n° 12 un peu de mercure a été projeté sur le robinet du ballon, et il serait possible qu'une gouttelette fût tombée dans l'intérieur.

» Le premier de nos deux tableaux offre la série des expériences faites pour s'assurer du vide des ballons. Le baromètre de comparaison a toujours été placé à côté du ballon ou réduit par le calcul au niveau de la fiole de mercure dans laquelle plongeait le tube d'épreuve. Ce baromètre ayant été soigneusement comparé par M. Delcros avec son Fortin, qui donne la hauteur absolue, nous n'avons pas négligé cette correction qui est de $+ 0^{mm},58$.

» Le tube recourbé qui communiquait avec le ballon a

toujours été plongé dans la fiole de mercure jusqu'au même point, on s'est assuré de la verticalité de la branche plongeante et l'on a marqué chaque fois sur ce tube la hauteur de la colonne mercurielle. On mesurait après l'expérience la longueur de cette colonne. Le tube ayant un diamètre de $2^{mm},7$, nous avons ajouté à cette longueur $3^{mm},1$ pour compenser la dépression capillaire, et nous avons tenu compte de la température du liquide employé. L'air a été recueilli devant l'auberge, sur une plate-forme située à 12 mètres au-dessous du sommet du Faulhorn, qui, d'après les mesures géodésiques des ingénieurs suisses, se trouve à 2683 mètres au-dessus du niveau de la mer.

I. — *Vérification du vide des ballons.*

NUMÉROS.	JOURS.	HEURES.	BAROMÈTRE à zéro.	HAUTEUR de la colonne d'épreuve.	DIFFÉRENCES.
			mm.	mm.	mm
9	20 juillet.			551,1	4,4
12	20	9 h. mat.	555,5	550,6	4,9
10	20	10 h. mat.	556,7	550,1	6,6
5	21	5 h. 30 m. s	554,25	550,9	3,35
6	21	6 h. soir.	554,7	548,1	6,6
8	24	7^h30^m mat.	552,15	546,1	6,15
7	24	8^h matin.	552,3	546,1	6,2
2	24	6^h50^m soir.	552,8	544,8	8,0
4	24	7^h soir.	552,6	545,4	7,2
1	7 août.	4^h soir.	558,6	552,4	6,2
3	7	4^h20^m s.	558,6	550,1	8,5

» Le second tableau présente l'ensemble des circonstances météorologiques qui ont accompagné l'introduction de l'air. Les baromètres sont réduits à la hauteur absolue et à la température de zéro. L'état hygrométrique de l'air a été observé au moyen du psychromètre de M. August, de Berlin, et calculé d'après la formule qu'il a donnée dans son Mémoire sur les progrès récents de l'hygrométrie. Nous nous sommes servis aussi de la table de la tension de la vapeur d'eau qui

II. — *Circonstances météorologiques qui ont accompagné l'introduction de l'air dans les ballons.*

NUMÉROS des ballons.	JOURS.	HEURES.	BAROMÈTRE à zéro.	Température de l'air.	TENSION de la vapeur d'eau en millim.	ÉLECTRICITÉ.	Cyanomètre.	VENTS.	ÉTAT DU CIEL.
11	20 juill.	9^h30^mm.	554,80	+ 5°7	»	positive forte.	5	S.-O. faible.	Serein. Brume dans les vallées. Beau temps depuis trente-six heures
9	20	Midi.	555,15	+ 6,8	»	positive faible	5	S.-O. petites raffales.	Légères vapeurs passant sur la cime. Zénith clair. Assez beau temps depuis cinquante heures.
12	20								
6	21	6^h20^m s.	554,05	+ 6,4	mm. 6,57	*Idem.*	»	S.-O. frais.	Après une pluie de $1^{mm},5$, qui a duré, avec quelques intermittences, de 3^h à 5^h30^m.
5	21	11^h45^ms.	554,18	+ 6,0	6,04	»	»	S.-O. frais par raffales.	Cumulus sur tout le ciel.
10	21								
8	24	7^h30^mm	552,08	— 0,6	4,62	positive forte.	»	S.-O. faible.	Brume générale. Un peu de grésil. Neige pendant la nuit précédente donnant 7 millimètres d'eau.
7	24	8^h15^mm.	552,11	— 0,3	4,41	*Idem.*	»		
2	24	6^h50^m s.	552,71	+ 0,2	4,89	positive.	»	*Idem.*	Brume générale enveloppant tout le sommet.
4	24	7^h15^m s.	552,56	+ 0,2	4,95	*Idem.*	»	S.-O. faible.	Brume générale mais laissant apercevoir e bleu du ciel.
1	7 août.	4^h soir.	557,83	+ 8,5	6,92	positive forte	6		Serein. Vapeurs blanchâtres à l'horizon après quarante-huit heures de très-beau temps.
3	7	4^h20^m s.	5 7,82	+ 8,5	6,87				

se trouve dans la *Physique* de M. Pouillet. Un électroscope à feuilles d'or, placé sur le sommet de la montagne à 4 décimètres au-dessus du sol, nous a indiqué la nature et la quantité relative de l'électricité. La teinte du ciel a été estimée au moyen du cyanomètre de 16 teintes de de Saussure.

A peine de retour à Paris, les ballons furent l'objet d'expériences propres à déterminer la composition de l'air qu'ils contenaient. Par les soins de M. de Gréterin, directeur-général des douanes, les caisses qui les renfermaient nous étaient parvenues intactes. »

Pour analyser cet air, nous réunissions les ballons de même date au moyen d'un tube à deux ou trois branches, nous ouvrions les robinets et nous mettions tout le système en communication avec l'appareil disposé pour l'analyse. La seule difficulté que nous ayons rencontrée, c'est la tendance du tube renfermant le cuivre à céder à la pression extérieure, le vide s'y faisant bien plus fortement que lorsqu'il est en communication avec l'atmosphère. Il faut donc choisir des tubes en verre très-dur, et ménager le coup de feu qu'on leur fait subir.

Une autre particularité que présenteraient ces sortes d'analyses, c'est que, s'effectuant sur des quantités limitées d'air et sur de l'air recueilli sous de faibles pressions, on n'opère en définitive que sur des masses d'air peu considérables. Cette circonstance tend à affaiblir le dosage de l'oxygène. Toutes les erreurs de notre procédé sont dans ce sens, et leur effet devient nécessairement plus sensible à mesure qu'on diminue la masse de la matière analysée. Or, quand il s'agit de vérifier si l'oxygène diminue avec la hauteur, il ne faut pas perdre de vue cette remarque dans la discussion des analyses. Voici les résultats obtenus :

20 JUILLET. — Air du Faulhorn, neuf heures du matin. Ballons n°s 11, 9 et 12.

Poids du tube plein de cuivre et vide d'air... 481^{gr},880

Poids du tube après l'expér., et plein d'azote.			479gr,353
Poids de l'azote du tube.....			0 ,023
Poids du ballon contenant l'azote.....	1471,490	à 21°,35 et 0,7610	
Poids du ballon vide....	1462,680	à 21 ,22 et 0,7602	
Poids de l'oxygène.....		2,600	229 ,6
Poids de l'azote { du tube... 0,023 / du ballon. 8,700 }		8,723	770 ,4
		11,323	1000 ,0

21 JUILLET. — Air pris au Faulhorn, de six heures à onze heures du soir. Ballons nos 6, 5 et 10.

Poids du tube plein de cuivre et vide d'air...			443gr,563
Poids du tube après l'expér. et plein d'azote.			446 ,299
Poids de l'azote contenu dans le tube.....			0 ,033
Poids du ballon contenant l'azote.....	1471,702	à 19°,75 et 0,7581	
Poids du ballon vide....	1462,734	à 19°,75 et 0,7581	
Poids de l'oxygène.....		2,703	230,9
Poids de l'azote { du tube... 0,033 / du ballon. 8,968 }		9,001	769,1
		11,704	1000,0

24 JUILLET. — Air du Faulhorn, recueilli de sept à huit heures du matin. Ballons nos 8 et 6.

Poids du tube plein de cuivre et vide d'air...			516gr,767
Poids du tube après l'expérience, plein d'azote			519 ,329
Azote du tube.....			0 ,003
Poids du ballon contenant l'azote.....	1471,485	à 23°,12 et 0,7613	
Poids du ballon vide....	1462,922	à 23°,30 et 0,7613	
Poids de l'oxygène.....		2,559	229,7
Poids de l'azote { du tube... 0,003 / du ballon. 8,574 }		8,577	770,3
		11,136	1000,0

24 JUILLET. — Air du Faulhorn, recueilli de six à huit heures du soir. Ballons nos 2 et 4.

Poids du tube contenant le cuivre vide d'air...			485,011
Poids du tube après l'expérience et plein d'azote.....			486,822
Poids du tube vide d'azote.....			486,820
Poids du ballon contenant l'azote.....	1469,100 à 23°,15 et 0,7579		
Poids du ballon vide.....	1463,030 à 23°,70 et 0,7579		
Poids de l'oxygène.....		1,809	228,6
Poids de l'azote...	du tube.. 0,002 / du ballon. 6,103	6,105	771,4
		7,914	1000,0

7 AOUT. — Air pris au Faulhorn, de quatre heures à quatre heures et demie du soir. Ballons nos 1 et 3.

Poids du tube plein de cuivre et vide d'air.....			486,820
Poids du tube après l'expérience et plein d'azote.....			487,708
Poids du tube après l'expérience et vide d'azote.			487,705
Ballon contenant l'azote...	1466,197 à 24°,10 et 0,7529		
Id. vide.....	1463,262 à 24°,33 et 0,7525		
Poids de l'oxygène.....		0,885	229,7
Poids de l'azote...	du tube... 0,003 / du ballon. 2,968	2,971	770,3
		3,856	1000,0

Comme nous en étions convenus avec MM. Martins et Bravais, nous avons exécuté à Paris des analyses de l'air, le 20, le 21 et le 24 juillet, en nous rapprochant, sans nous y astreindre, des heures qui avaient été fixées pour recueillir l'air au Faulhorn. Si nous nous étions contentés, en effet, de remplir des ballons d'air pour les analyser plus

tard, nous aurions pu être toujours exacts pour les heures ; mais faisant les analyses elles-mêmes, il était difficile d'éviter les petits incidents, les retards inséparables d'une opération qui exige des préparatifs nombreux et délicats.

Voici, du reste, les détails de nos analyses :

20 JUILLET.—Air pris à Paris dans le jardin du laboratoire de M. Dumas, à une heure et demie après midi. Ciel couvert dès le matin. Pluie pendant toute la durée de l'expérience.

Poids du tube plein de cuivre et vide d'air...		613gr,450
Poids du tube après l'expérience et plein d'azote.....		619 ,026
Poids du tube après l'expérience et vide d'azote.....		618 ,986
Poids du ballon contenant l'azote.....	1323,864 à 0,75435 et 19°,92	
Poids du ballon vide....	1305,200 à 0,75900 et 19°,10	
Poids de l'oxygène.....	5,537	230 ,05
Poids de l'azote { du tube.....	0,040	769 ,95
Poids de l'azote { du ballon.....	18,491	
Air analysé.....	24,068	1000 ,00

21 JUILLET. — Air pris à Paris dans le jardin, à onze heures et demie du soir. Ciel découvert.

Poids du tube plein de cuivre et vide d'air...		619gr,003
Poids du tube après l'expérience et plein d'azote.....		622 ,735
Poids du tube après l'expérience et vide d'azote.....		622 ,710
Poids du ballon contenant l'azote.....	1317,696 à 20°,02 et 0,75800	
Poids du ballon vide....	1305,202 à 19°,10 et 0,75900	

Poids de l'oxygène.....	3,709	230,04
Poids de l'azote { du tube.....	0,024	769,96
Poids de l'azote { du ballon.....	12,390	
Air analysé.....	16,123	1000,00

24 JUILLET. — Air pris à Paris dans le jardin de dix heures du matin à deux heures. Ciel couvert. Air calme.

Poids du tube plein de cuivre et vide d'air...	599^{gr},598
Poids du tube après l'expérience et plein d'azote.....	605 ,208
Poids du tube après l'expérience et vide d'azote.....	605 ,163
Poids du ballon contenant l'azote.....	1323,704 à 20°,00 et 0,76245
Poids du ballon vide....	1305,180 à 19°,83 et 0,76290

Poids de l'oxygène.....	5,565	230 ,80
Poids de l'azote { du tube.....	0,045	769 ,20
Poids de l'azote { du ballon.....	18,497	
	24,107	1000 ,00

Si nous comparons, maintenant, les analyses de l'air de Paris avec celles de l'air du Faulhorn et avec celles de l'air de Berne, faites par M. Brunner, il en résulte évidemment que la composition moyenne de l'air est sensiblement la même dans ces trois localités.

Le tableau suivant ne laisse pas grand doute à ce sujet, mais en réfléchissant à la faible hauteur du Faulhorn, à la facilité avec laquelle les vents venant de la plaine peuvent porter jusque là de l'air en provenant, on peut désirer de nouvelles démonstrations encore à ce sujet. Espérons qu'une nouvelle ascension aérostatique bien combinée permettra de se procurer de l'air pris par un temps calme à une hauteur de 6 à 7,000 mètres, seul moyen de trancher la question.

LIEUX.	DATES.	OBSERVATIONS.	OXYGÈNE POUR 10000 D'AIR EN POIDS.		
			Paris	Faulhorn.	Berne.
Paris....	20 juillet.	De midi à cinq heures, pluie pendant toute la durée de l'expérience.....	2305	»	»
Faulhorn.	20	De dix heures à midi, beau temps depuis trente-six heures.....	»	2296	»
Berne...	20	Ciel peu nuageux, vent d'ouest.....	»	»	2300
Paris....	21	Air pris à minuit par un ciel serein.....	2300	»	»
Faulhorn.	21	Air pris à minuit; cumulus sur tout le ciel.....	»	2310	»
Berne....	21	Air pris à onze heures de la nuit; ciel couvert.....	»	»	2289
Paris....	24	Air pris de dix à deux heures dans la journée; ciel couvert, air calme.....	2307	»	»
Faulhorn.	24	Air pris à huit heures du matin. Brume générale; un peu de grésil; neige pendant toute la nuit précédente donnant 7 millimètres d'eau.....	»	2295	»
Berne....	24	Air pris de sept à huit heures du matin; beau temps.....	»	»	2297
Faulhorn	24	Air pris de six à sept heures du soir; brume commençant à s'éclaircir; vent sud-ouest faible.....	»	2285	»
Berne....	24	Air pris de sept à huit heures du soir.....	»	»	2296
Faulhorn.	7 août...	Air pris à quatre heures du soir; ciel serein après quarante-huit heures de beau temps.....	»	2297	»
		Moyennes.....	2304	2297	2295

Enfin, nous avons voulu prendre une idée exacte de la composition normale de l'air sur la plus grande échelle que nous pussions atteindre. A cet effet, nous avons employé deux tubes successifs pleins de cuivre et nous avons rempli deux fois le ballon d'azote. Par ce moyen, nous avons pu opérer sur une masse d'air qui ne s'élevait pas à moins de 64 grammes, c'est-à-dire environ 50 litres.

Voici les données de cette expérience :

20 SEPTEMBRE.—Air pris à Paris dans le jardin du laboratoire de M. Dumas. Beau temps. Ciel découvert. L'analyse, commencée à midi a été terminée à sept heures du soir.

Poids des deux tubes pleins de cuivre et vides d'air..... 1059^{gr},873

Poids des deux tubes après l'expérience et pleins d'azote..... 1074 ,822

Poids des deux tubes après l'expérience et vides d'azote..... 1074 ,725

Premier ballon contenant l'azote..... 1596,782 à 21°,30 et 0,7642

Id. vide..... 1571,945 à 21°,35 et 0,7642

Second ballon contenant l'azote..... 1596,569 à 21°,00 et 0,7620

Id. vide..... 1571,972 à 21°,40 et 0,7620

Poids de l'oxygène.....		14^{gr},852	230 ,79
Poids de l'azote	des tubes.....	0 ,097	769 ,21
	des ballons.....	24 ,837 / 24 ,565	
		64 ,351	1000, 00

En répétant cette expérience deux jours après dans les mêmes conditions, nous avons obtenu une quantité d'oxy-

gène notablement au-dessous de la moyenne, et pourtant, au lieu d'un seul tube de cuivre, il y en avait deux, et au lieu d'opérer sur 64 gr. d'air, on n'avait opéré que sur 31 gr. environ.

Ce changement brusque dans la quantité d'oxygène s'est déjà présenté d'une manière assez marquée dans nos analyses, pour que nous regardions comme nécessaire de le signaler à l'attention des personnes qui prennent quelque intérêt à la physique du globe.

Voici les données de cette expérience :

22 SEPTEMBRE. — Air pris dans le jardin. Ciel couvert.

Poids des tubes pleins de cuivre et vides d'air	$1097^{gr},939$
Poids des tubes après l'expérience, pleins d'azote	1105 ,128
Poids des tubes après l'expérience, vides d'azote	1105 ,028

Ballon contenant l'azote...	1595,965 à 21°,43 et 0,7553	
Id. vide	1572,192 à 21 ,43 et 0,7557	
Poids de l'oxygène	7,089	228,95
Poids de l'azote. des tubes.	0,100	771,05
Poids de l'azote. du ballon.	23,773	
	30,962	1000,00

Maintenant si, comme tout l'indique, la composition de l'air en masse est constante, on peut se demander si certaines zones de l'atmosphère n'offriraient pas une composition particulière déterminée par des phénomènes naturels, tels que les pluies, la végétation, la direction des vents, etc. Les expériences du genre de celles qui précèdent porteraient à le croire.

Dès lors, et comme pouvant servir de terme de comparai-

son, nous donnerons ici le résumé de toutes les expériences que nous avons faites sur la composition de l'air à Paris. Quoi qu'elles s'éloignent bien peu de la moyenne pour la plupart, on y remarque pourtant des écarts qui nous semblent supérieurs aux chances d'erreur de notre procédé.

JOURS.	BAROMÈTRE.	THERMOM.	VENTS.	ÉTAT du ciel.	OXYGÈNE p. 1000 d'air en poids
27 avril.....	0,7595	23°	S.	Beau.	229,2
28 »	0,7583	25°	S.-E.	Beau.	230,6
29 »	0,7576	27°	N.-O.	Beau.	230,3
29 mai.....	0,7579	17°,4	N.	Pluie.	230,1
20 juillet à 2 h.	0,7539	19°	S.	Pluie.	230,0
21 »	0,7521	14°,7	S.-O.	Beau.	230,0
24 » à midi.	0,7582	17°,8	N.-N.-O.	Couvert.	230,8
20 sept. à midi.	0,7589	22°,6	N.	Beau.	230,7
22 » 2 heures.	0,7512	21°	S.-S.-O.	Couvert.	228,9
				Moyenne.	230,07

La seule remarque qui semble permise d'après un aussi faible nombre d'expériences, c'est que la direction du vent semble influer sur la composition de l'air d'une manière sensible.

On voit, en effet, la composition se modifier du 20 au 22 septembre, ainsi que du 21 au 24 juillet, le vent ayant changé de direction dans ces deux circonstances.

Il y aurait donc un grand intérêt, dans toutes les expériences qui vont être faites, à tenir note des vents qui ont régné pendant les journées qui ont précédé celles où l'analyse a été exécutée, et à choisir à l'avenir, pour ana-

lyser l'air d'une localité quelconque, des jours bien caractérisés sous le rapport du vent régnant ou bien des jours parfaitement calmes.

Description de quelques procédés pour l'analyse de l'atmosphère;

PAR M. C. BRUNNER,

Professeur de Chimie à Berne.

L'analyse chimique de l'atmosphère a été de tout temps une des parties de la Chimie qui ont attiré le plus l'attention des savants. Aussi des méthodes, en grand nombre, ont-elles été imaginées successivement pour arriver à une solution rigoureuse de ce problème. La valeur de ces méthodes a été jugée très-différemment, comme il est aisé de le comprendre. Ce qui pouvait être regardé comme rigoureux dans le siècle passé, peut paraître insuffisant aujourd'hui, et nous devons nous attendre à être jugés dans la même progression d'exigence par nos successeurs. Cependant tous les efforts que nous faisons pour mieux établir un des points les plus intéressants de la science, paraissent mériter l'attention et doivent nécessairement conduire à de nouveaux perfectionnements, quand même ils ne fourniraient pas encore des résultats bien rigoureux.

Je n'entreprendrai point ici de discuter toutes les méthodes qui ont été imaginées jusqu'à ce jour pour l'analyse de l'atmosphère; le but de mon Mémoire étant plutôt de réunir quelques procédés que j'ai décrits successivement, et qui restent en partie inaperçus parce qu'ils sont disséminés dans plusieurs journaux scientifiques. J'indiquerai en même

temps quelques perfectionnements que j'y ai faits depuis leur publication.

Un illustre chimiste français ayant récemment appelé de nouveau l'attention sur cet objet, et s'étant servi dans ses expériences d'un procédé analogue à celui que j'ai décrit, je crois de mon devoir de fournir de mon côté les matériaux que je possède; peut-être serviront-ils à continuer ces recherches, auxquelles une association de savants du premier ordre paraît vouloir se consacrer.

Quand, par les efforts de tous, une méthode d'analyse d'une exécution facile et sûre sera trouvée, on pourra suivre non-seulement les variations qui peuvent avoir lieu dans la composition de l'atmosphère d'un point du globe comparé à un autre, celles que peuvent présenter les différentes couches de l'atmosphère, mais aussi les changements qui peuvent avoir lieu dans le courant de l'année et même à des époques plus éloignées.

Toutes nos expériences portent à penser que ces changements sont fort petits; dans tous les Traités de Chimie on les trouve indiqués comme non existants, du moins quant aux deux parties constituantes qu'on regarde comme essentielles. Rien, cependant, ne prouve cette stabilité absolue, car il serait facile de faire sentir que les méthodes employées jusqu'ici ne présentent pas de garantie au-delà de $\frac{1}{200}$ ou même $\frac{1}{100}$ du volume d'air sur lequel on opère, et, quoique une moyenne tirée de tous les essais eudiométriques faits jusqu'ici pût fournir un résultat passablement juste pour l'ensemble de la question, il est évident qu'elle ne peut satisfaire dans les cas particuliers.

Qu'il me soit permis, avant de décrire les méthodes que j'ai employées, de signaler quelques défauts communs à toutes celles qu'on a proposées jusqu'à ce jour.

La première défectuosité que présentent les méthodes connues est celle d'être applicables seulement à un volume d'air ordinairement fort limité. Tous les eudiomètres décrits jus-

qu'ici se bornent à enlever, par le moyen d'une substance oxydable, l'oxygène contenu dans quelques pouces cubes d'air. Il est facile de démontrer l'insuffisance de la détermination du volume absorbé, en comparant la quantité mise en expérience avec les fautes inévitables de jaugeage. Je n'en dirai que deux mots.

Si l'on mesure un gaz dans une cuve à eau, il est impossible de juger de son volume à moins de $\frac{1}{100}$ près. Non-seulement le contact du gaz et de l'eau qui, comme on sait, doit en absorber une petite quantité, s'oppose à l'exactitude de l'opération, mais aussi la difficulté de juger du niveau du liquide, due à l'adhérence de l'eau au verre, la quantité d'eau qui en mouillant intérieurement le vase rétrécit la capacité de l'espace occupé par le gaz, sont autant de sources d'erreur qui influent sur le résultat. Je ne parle point de la pression barométrique, de la température, de la tension de l'eau, dont les effets sont connus et peuvent être soumis au calcul. Veut-on, pour éviter ces inconvénients, se servir de la cuve à mercure : de nouvelles difficultés se présentent. Il est impossible de faire passer un gaz à travers ce liquide sans que quelques bulles s'attachent aux parois du cylindre ou restent engagées en quelque manière dans le mercure ; ce qui le prouve, c'est la nécessité de faire bouillir ce métal pour la fabrication des baromètres. Mais une source d'erreur bien plus grande est celle que présente la difficulté de tenir les deux niveaux du mercure bien égaux pendant le jaugeage du gaz. On conçoit facilement que la plus légère différence entre eux doit avoir une influence très-notable sur le volume mesuré. D'ailleurs ces opérations sur le mercure ne sont guère praticables en voyage.

Ces inconvénients sont moins sensibles dans la détermination des parties constituantes de l'atmosphère qu'on regarde comme variables et accidentelles, la vapeur d'eau et l'acide carbonique, puisqu'elle se pratique par des moyens tout différents.

Les méthodes dont je me suis servi pour l'analyse de l'atmosphère reposent sur l'emploi d'un appareil fort simple et qui, comme je le pense, est moins sujet aux erreurs qui viennent d'être mentionnées. Il consiste en un vase d'une forme et d'une dimension indéterminées, rempli d'un liquide convenable, qui, pendant son écoulement par un orifice situé à la partie inférieure du vase, est remplacé par un volume égal d'air entrant dans le vase par un orifice supérieur. Cet appareil attirant l'air comme par aspiration, je l'ai appelé *aspirateur*. On conçoit qu'en mesurant le liquide écoulé, on évalue par là le volume d'air aspiré. C'est au moment de l'entrée de l'air dans le vase qu'on le soumet à l'influence des réactifs propres à déceler sa nature, en le faisant passer, soit par des flacons de Woolf, soit par des tubes, etc.

Il est aisé de comprendre qu'on obtient avec ce système les avantages suivants :

1°. D'opérer à volonté sur des masses considérables d'air, ce qui rend les erreurs d'observation moins sensibles;

2°. D'employer les réactifs les plus variés;

3°. D'obtenir des résultats par un effet positif, soit par une augmentation de poids, soit par la formation d'un précipité, etc.

Avant de passer aux procédés analytiques employés, je vais décrire une forme d'aspirateur, très-commode pour les cas où il ne s'agit pas de déterminer exactement le volume d'air sur lequel on opère (1).

A et B (*Pl. VI, fig.* 1) sont deux vases cylindriques, en fer-blanc ou en cuivre, d'égale capacité, de $\frac{3}{4}$ à 1 pied cube, par exemple, fermés des deux côtés et joints par une tige de fer *ab*, qui porte en croix une seconde tige *cd*, sur laquelle l'appareil peut tourner comme autour d'un axe, de manière que les deux vases occupent successivement la

(1) La première description de cet appareil se trouve dans les *Annales* de Poggendorff, tome XXXVIII, page 265.

même place. Le vase A étant supposé plein d'eau, il est évident qu'en faisant écouler ce liquide par le robinet *e* pour qu'il arrive par le petit tuyau *gh* dans le vase inférieur, le vase A se remplira d'air arrivant par l'ouverture *f*. Le vase étant vide d'eau, on ferme l'ouverture *f*, on tourne l'appareil sur son axe, et l'on continue l'opération en faisant écouler l'eau du vase B dans le vase A. Pour faire échapper l'air contenu dans le vase inférieur, on ouvre le robinet *i* qui est foré à angle droit, *fig.* 2.

Dans l'ouverture *f* s'adaptent les tubes ou autres appareils à travers lesquels le courant d'air doit être dirigé.

Cet appareil est très-propre à évaporer, à dessécher des substances au bain-marie, à en brûler d'autres dans un courant d'air, etc. (1).

Analyse de l'air.

On sait que l'atmosphère est composée d'au moins quatre substances, qui, jusqu'à présent, y ont toujours été observées et qui s'y trouvent à l'état de mélange, et non en combinaison chimique. Deux de ces substances, l'acide carbonique et la vapeur d'eau, y existent en quantité assez faible et très-variable. Aussi les regarde-t-on généralement comme accidentelles, d'autant plus que nous pouvons, en quelque sorte, nous rendre compte de leur variation continuelle.

Détermination de l'eau (2).

L'évaluation de la quantité d'eau contenue dans l'atmosphère se pratique communément par des expériences indirectes, au moyen des hygromètres dont la description se trouve dans tous les Traités de Physique. Pour la faire par le moyen de l'aspirateur, voici comme on procède.

L'aspirateur employé est un vase d'une forme quel-

(1) *Voyez* son application à l'analyse organique. *Bibliothèque Univers.*, juin 1838, vol. XV, page 356, et février 1839, vol. XIX, page 405.

(2) La première description de cette méthode se trouve dans les *Annales de Poggendorff*, vol. XX, page 274 (novembre 1830).

conque, par exemple une grande bouteille, *fig.* 3, à deux ouvertures, remplie d'eau qui, en s'écoulant, est reçue dans une bouteille dont la capacité a été bien mesurée. A défaut d'un vase à deux ouvertures, on y supplée par un siphon représenté par la *fig.* 4. Pour fixer hermétiquement les tubes dans l'ouverture du vase, voici quel est l'arrangement le plus commode. On fait faire un bouchon en plomb qui entre assez juste dans le goulot du bocal et s'y maintient par son bord. Ce bouchon est percé de deux trous qui donnent passage aux tubes, qui eux-mêmes se maintiennent dans leur position au moyen d'un petit renflement immédiatement au-dessus du bouchon, *fig.* 5. La clôture hermétique se fait avec un lut composé en parties égales de céruse et de minium pétri avec de l'huile de lin qu'on a fait bouillir pendant une demi-heure avec $\frac{1}{10}$ de litharge. On applique ce lut autour du col du bouchon avant de le mettre dans le goulot, de sorte qu'en le plaçant dans son ouverture, et en appuyant un peu, on ferme aussitôt hermétiquement. Les tubes, garnis aussi de lut immédiatement au-dessous de leur renflement, se fixent également par une légère pression, quand on les place dans leurs ouvertures (1). Un robinet *a* sert à fermer le siphon aussitôt que l'expérience est terminée.

La substance destinée à retenir l'eau contenue dans l'air sur lequel on opère, est l'acide sulfurique concentré. On en met une quantité suffisante dans un tube de verre qui contient de l'amiante, et il reste ainsi fixé dans toute la longueur du tube. Pour charger commodément cet appareil, on y introduit premièrement l'amiante sec, puis l'acide en quantité convenable pour l'humecter légèrement dans toute son étendue sans qu'il en ressorte par l'ouverture inférieure.

---

(1) Cette espèce de clôture est applicable dans une foule de cas, et elle est infiniment préférable aux bouchons de liége.

On avait cru que l'emploi du chlorure de calcium était préférable à celui de l'acide sulfurique : je me suis assuré du contraire. Un tube de 37 pouces de long sur $\frac{1}{3}$ pouce de diamètre, rempli de chlorure de calcium, desséchait moins complétement un courant d'air saturé de vapeur d'eau qu'un tube de 8 pouces contenant de l'amiante humecté de quarante gouttes d'acide sulfurique. Un second tube pareil, ajusté à ce dernier, n'augmenta pas de poids, tandis que lorsqu'on employait du chlorure de calcium, l'air après l'avoir traversé faisait augmenter de plusieurs milligrammes le poids du second tube. Une expérience directe m'a prouvé qu'un tube contenant quarante gouttes d'acide sulfurique peut absorber près de $2^{gr.},5$ d'eau, avant qu'un second tube pareil, traversé par le même courant à la suite du premier, augmente sensiblement de poids.

Pour contenir l'acide dans l'intérieur du tube pendant les pesées, il est bon d'introduire aux deux extrémités, après avoir chargé le tube d'acide sulfurique, des bourres d'amiante non humectées d'acide. Il convient aussi de fermer les deux bouts par des bouchons de liége ou de métal, pour empêcher l'air d'y apporter de l'humidité pendant les manipulations (1).

L'opération elle-même ne consiste qu'à soutirer le volume voulu d'eau, et à déterminer l'augmentation du poids du tube.

Je ne donne pas ici les chiffres obtenus par différentes expériences, car ils ne présentent aucun intérêt scientifique. J'observe seulement que des opérations consécutives m'ont fourni des résultats assez concordants pour me faire croire que cette méthode est applicable à toutes les recher-

(1) Les appareils pour dessécher les gaz par le moyen de l'acide sulfurique d'après le principe des flacons de Woolf me paraissent bien moins efficaces que celui qui est décrit ci-dessus. Le gaz, y passant un peu rapidement, traverse le liquide en forme de bulles qui ne présentent au liquide absorbant qu'une surface assez limitée.

ches de ce genre. C'est surtout comme instrument vérificateur des hygromètres que cet appareil pourra servir avec utilité.

Détermination de l'acide carbonique (1).

L'appareil aspirateur est le même qui vient d'être décrit. La substance qui doit absorber l'acide carbonique amené par le courant d'air est la chaux éteinte. L'appareil d'absorption se compose de deux tubes. L'un *ab*, *fig.* 6, est un tube contenant de l'amiante humecté d'acide sulfurique, pareil à celui que j'ai employé pour la détermination de l'eau. Le second tube, *cd*, se compose de deux parties inégales en diamètre : *fe* contient la chaux, *hd* de l'amiante humecté d'acide sulfurique comme *ab*. On conçoit que *ab* est destiné à dessécher l'air qui entre dans l'appareil, et qui sans cela déposerait son eau dans *cd*, d'où résulterait une augmentation de poids trop grande; *hd* est destiné à retenir l'eau que le courant enlève à la chaux. L'espace *eh* est rempli de fragments de verre ou de porcelaine destinés à empêcher le contact de l'amiante humecté et de la chaux. *cf* contient un morceau d'éponge humide, qui facilite beaucoup l'absorption complète de l'acide carbonique. La chaux employée est de la chaux éteinte, humectée légèrement, sans cependant former des grumeaux. Pendant quelque temps je la mêlais de mousse pour la rendre plus perméable au courant de gaz. L'expérience m'a depuis appris que cela est inutile. Seulement on doit l'entasser très-légèrement dans le tube, et s'assurer par aspiration que le courant d'air la traverse sans gêne. Pendant les pesées et autres manipulations, le tube est fermé avec des bouchons.

Je supprime ici également les résultats de celles de mes expériences qui étaient uniquement destinées à fixer la mé-

(1) La première description de ce procédé, quoique un peu différente de celle que je vais donner, se trouve dans les *Annales de Poggendorff*, vol. XXIV, page 569.

thode. J'observe seulement que les résultats obtenus se trouvaient entre les limites que M. de Saussure avait déterminées par une méthode très-différente, et celles qui ont été fixées plus récemment par M. Boussingault, lequel se servait de mon appareil.

Détermination de l'oxygène ou procédé eudiométrique.

J'ai employé, comme substance eudiométrique, successivement le fer et le cuivre métalliques à une température élevée, et le phosphore à la température ordinaire.

J'employais les deux métaux à l'état de tournure mêlée avec le métal en poudre, tel qu'il est obtenu en réduisant l'oxyde par un courant de gaz hydrogène à une température élevée. Un tube de verre contenant le métal fut chauffé au rouge par une lampe à esprit-de-vin ou par des charbons, pendant que le courant d'air aspiré le traversait. L'augmentation en poids du tube indiquait l'oxygène fixé (1).

Je crois inutile de décrire ici en détail cet appareil, d'ailleurs fort simple. Les résultats que j'obtins en m'en servant présentaient des différences de $\frac{1}{3}$ p. 100 en volume de l'air analysé, ce qui me le fit abandonner. J'attribuai ce manque de concordance, soit à la propriété des poudres d'absorber les gaz, pensant que le métal employé pourrait retenir tantôt un peu d'hydrogène qui servait à sa préparation, ou de l'air après l'opération eudiométrique, soit à une température inégale du tube avant et après l'opération. D'ailleurs ce procédé exigeait l'emploi du feu, ce qui le rend peu propre à des expériences de voyage (2).

---

(1) La description de cette méthode se trouve dans les *Annales de Poggendorff*, vol. XXVII, page 1 (novembre 1832).

(2) Il paraît que MM Dumas et Boussingault ont vaincu ces difficultés. Dans leurs expériences ils se sont servis du même procédé, du moins quant au principe, avec la différence que l'air analysé fut aspiré par un ballon vide et que la quantité de l'azote fut pesée.

Après beaucoup de tentatives pour arriver à des résultats plus exacts, j'y ai réussi enfin au moyen du phosphore, et c'est l'appareil que je vais décrire qui m'a paru le plus convenable.

ab, *fig.* 7, est le tube eudiométrique, *cd* le tube destiné à retenir l'acide carbonique et l'eau de l'air aspiré. Ce dernier appareil est arrangé comme *cd*, *fig.* 6, avec la différence seulement que la partie *cf*, *fig.* 6, est supprimée.

Le tube eudiométrique se charge de la manière suivante : on introduit dans la partie *bc* un morceau de phosphore d'environ 1 gramme ; on chauffe légèrement, et, en tournant le tube sur son axe, on tâche d'attacher le phosphore fondu à ses parois. La partie élargie du tube *ef* est remplie très-légèrement de coton cardé, qui cependant ne doit pas dépasser le point *f*, de sorte qu'il reste un espace vide d'environ 1 pouce entre *f* et *c*. Ce tube, ainsi rempli, s'ajuste à l'aspirateur et au tube *cd* au moyen de bouchons métalliques, scellés par de la cire à cacheter (1). L'aspirateur est rempli d'huile d'olive.

Je préfère ce liquide à l'eau pour éviter, 1° l'effet de la tension de la vapeur de celle-ci, qui influerait nécessairement sur le volume du gaz ; 2° la possibilité d'absorption

(1) Voici le détail de ce mode de jointure. S'il s'agit de combiner deux tubes dont l'un soit effilé, on ferme l'autre par un bouchon de cuivre scellé dans l'embouchure du tube avec de la cire à cacheter (voyez *fig.* 8). Le tube effilé s'introduit dans l'ouverture du bouchon jusqu'à son renflement, et s'y fixe au moyen du lut gras, comme il a été indiqué plus haut (voyez *fig.* 9). Cet ajustage est celui de la *fig.* 7, *bc*. Pour réunir deux tubes dont aucun n'est effilé, on les ferme tous les deux par des bouchons percés en cuivre, et l'on introduit, dans les deux ouvertures, un petit tube qui porte dans son milieu un disque soudé sur le tube (voyez *fig.* 10). Après avoir mis un peu de lut sur les deux surfaces du disque, on réunit les deux tubes en les pressant légèrement, *fig.* 11. Cette méthode de combiner hermétiquement des appareils est bien plus commode et plus sûre que les bouchons de liége et même que les tubes de caoutchouc. Je m'en sers pour tous les gaz non décidément acides. Elle est très-utile dans les appareils d'analyse organique. Pour peser les tubes avant et après l'opération, on enlève soigneusement le lut, et l'on ferme les bouchons au moyen d'une pilule de cire.

d'une petite quantité de gaz azote par l'eau; 3° l'évaporation.

Avant de commencer l'expérience eudiométrique, on fait fondre le phosphore en *ef* pendant que l'huile commence à s'écouler. La combustion du phosphore ne tarde pas à avoir lieu, et le produit se rend dans le coton contenu dans le tube. Ce produit est un mélange d'acide phosphoreux et d'un peu d'oxyde de phosphore. Quand 3 ou 4 onces d'huile sont écoulées, on cesse l'opération en fermant le robinet de l'aspirateur, on laisse refroidir l'appareil, et l'on pèse soigneusement le tube *ab*.

Cette opération préliminaire a pour but de former un peu de produit phosphoreux, qui, étant lui-même éminemment oxydable, sert, pendant l'expérience eudiométrique, à enlever un petit reste d'oxygène qui pourrait avoir échappé à l'action du phosphore.

L'opération eudiométrique elle-même se fait après avoir ajusté de nouveau le tube *ab*, pesé et chauffé légèrement le phosphore pour le fondre, en ouvrant ensuite le robinet de l'aspirateur et laissant écouler l'huile qui est reçue dans un vase mesuré avec beaucoup de soin (1). Le courant de gaz ne doit pas être trop rapide; j'emploie environ une heure pour écouler $1731^{c.c.},687$ d'huile (2). La combustion du phosphore une fois commencée continue sans intermittence et très-uniformément sans le secours de chaleur extérieure, en produisant la lumière ordinaire que donne le phosphore dans l'obscurité. Ce n'est pas la combustion rapide à lumière brillante et produisant de l'acide phosphorique qu'il faut employer : l'effet serait trop prompt, une

(1) Il est bien entendu que le vase qui reçoit l'huile doit être soigneusement essuyé dans son intérieur après chaque expérience, afin que sa capacité ne soit pas diminuée par de l'huile adhérente.

(2) Voici la dimension du tube eudiométrique qui convient à cette quantité : longueur de $ag = 5\frac{1}{2}$ pouce, *fig.* 7; celle de $gf = 4\frac{1}{2}$ pouces; diamètre intérieur de $ag = 5$ lignes; celui de $gf = 9$ lignes.

grande partie du produit passerait jusque dans l'aspirateur.

L'opération terminée, on pèse de nouveau le tube *ab*, qui, par l'augmentation du poids, donne la quantité d'oxygène fixée. On transforme ce poids en volume par le calcul, en ayant égard à la pression de l'atmosphère et à la température, et on le compare au volume de l'azote représenté par celui de l'huile écoulée.

Il restait encore à vérifier si ce volume de l'huile écoulée égalait réellement celui du gaz azote entré dans le vase. Berthollet prétendait, comme on sait, qu'en se servant de phosphore comme substance eudiométrique, le volume de l'azote restant se trouvait augmenté de $\frac{1}{10}$, et qu'il fallait retrancher cette quantité pour avoir la valeur exacte (1). Parrot soutenait le contraire, en disant que le phosphore ne changeait point le volume du gaz (2).

Pour examiner ce point, je préparai de l'azote en faisant passer un courant d'air atmosphérique à travers du cuivre chauffé au rouge, et je le recueillis sur le mercure. Une tige de phosphore, placée dans le gaz, n'en changea pas le volume, autant qu'on pouvait en juger par les moyens de jaugeage ordinaires, en observant les changements barométriques et thermométriques (3).

Une autre expérience fut faite dans le but de s'assurer si une quantité sensible de phosphore serait enlevée par évaporation dans le courant de gaz. On fit passer un courant d'azote à la température ordinaire à travers un tube eudiométrique, chargé comme il vient d'être décrit et pesé soigneusement, 1731$^{c.c.}$,687 de gaz azote desséché, passant de cette manière dans l'appareil, en diminuaient à peine le poids de 1 milligramme à chaque résultat.

---

(1) *Statique chimique*, t. I, p. 514.

(2) *Annales de Gilbert*, t. X, p. 206.

(3) Je n'ai pas examiné si l'assertion de Berthollet serait juste en opérant sur l'eau.

Je donne comme exemples les chiffres de quelques expériences faites d'après ce procédé. Le volume d'huile écoulé était, dans chaque opération, de $1731^{c.c.},687$ Pour calculer le volume de l'oxygène, on a admis que le gramme de cette substance équivaut à $698^{c.c.},14$, à 760 millimètres de pression barométrique et 0° cent. On a pris le coefficient de M. Rudberg = 0,00365 pour l'augmentation du volume du gaz pour chaque degré centigrade en partant de 0° (1).

Date de l'expérience.	Températ.	Baromèt.	Oxygène condensé.	Volume de l'oxygène dans 100 parties d'air.
		mill.	gr.	
20 juillet 1841 à 11h du matin..	20°cent.	718,5	0,575	20,867
— à 11h de la nuit..	19	716,8	0,573	20,750
23 — à 10h du matin...	19	718,5	0,576	20,790
23 — à 4h du soir	20	719	0,576	20,842
24 — à 7h du matin...	19	719	0,578	20,812
24 — à 7h du soir.....	19	718	0,577	20,837
28 — à 4h ½ du soir...	20	719	0,575	20,818
		Moyenne.....		20,821

Dans une série d'expériences faites en 1832 sur l'air au sommet du Faulhorn, dans les hautes Alpes de l'Oberland bernois, j'avais trouvé comme terme moyen 20,915 d'oxygène. La différence entre ce chiffre et celui que j'ai obtenu dans les dernières expériences, pourrait provenir d'une petite erreur dans la mesure du vase qui servait, dans mes anciennes expériences, à recevoir le liquide écoulé. Malheureusement je ne suis pas en état d'en juger positivement, le vase de 1832 n'existant plus.

Le procédé d'analyse qui vient d'être décrit est enfin applicable, *mutatis mutandis,* à toutes les recherches chimiques sur l'atmosphère. Il est facile de concevoir l'arrangement de l'appareil pour soumettre l'air à l'influence des

(1) Les résultats de M. Brunner sont calculés ici avec la densité de l'oxygène 1,1026 et celle de l'azote 0,976; nous avons donné précédemment les mêmes résultats calculés avec la densité de l'oxygène 1,1057 et celle de l'azote 0,972. (R.)

Il n'y avait pas de trace d'autre gaz, ainsi la composition de cet échantillon est :

Azote.....	81,519	p. 100.
Oxygène.....	18,416	
Acide carbonique....	0,065	
	100,000	

II. Mine de Wheal-Vor, comme ci-dessus. L'air a été pris à 250 brasses de la surface, à 60 brasses de tout puits. Deux hommes dans la cavité; dix minutes après avoir mis le feu à la mine; pesanteur spécifique 993.

	Oxygène.
Moyenne de six expériences avec l'hydrogène.	16,7
Moyenne de quatre expériences avec le bioxyde d'azote.....	16,62
Moyenne de deux expériences avec la boule de platine.....	16,75
Moyenne.....	16,69

	Acide carb.
Moyenne de trois expériences avec de l'eau de chaux.....	0,075
Moyenne de trois expériences avec la solution alcaline.....	0,075
Moyenne.....	0,075

Composition du gaz :

Azote.....	83,24	p. 100.
Oxygène.....	16,69	
Acide carbonique....	0,075	
	100,005	

III. Wheal-Vor, comme ci-dessus. L'air a été pris à 240 brasses; 24 brasses à l'est de tout puits; il y avait deux hommes dans la cavité; une demi-heure après avoir mis le feu à la mine; pesanteur spécifique 997.

	Oxygène.
Moyenne de trois expériences par l'hydrogène.	19,2
Moyenne de trois expériences par le bioxyde d'azote	19,0
Moyenne de trois expériences par la combustion lente du phosphore sur le mercure	18,26
Une expérience avec la boule de platine	19,0
Moyenne	18,95

	Acide carb.
Moyenne de trois expériences avec l'eau de chaux.	0,06
Moyenne de trois expériences avec la solution alcaline	0,07
Moyenne	0,065

Une portion de l'air ci-dessus, recueilli en vidant une bouteille de quatre onces contenant du mercure, a fortement indiqué la présence de l'hydrogène sulfuré et de l'acide sulfureux : les quantités ne furent pas vérifiées.

Composition de cet échantillon :

Azote	80,98	p. 100.
Oxygène	18,95	
Acide carbonique	0,065	
	99,995	

IV. Wheal-Vor, comme ci-dessus. Air pris à 230 brasses; il y avait deux hommes dans la cavité, à 22 brasses de tout puits, une demi-heure après avoir mis le feu à la mine; pesanteur spécifique 994.

	Oxygène.
Moyenne de deux expériences par l'hydrogène.	17,22
Moyenne de trois expériences par le bioxyde d'azote	17,36
Moyenne de trois expériences par le quadrisulfure de calcium	17,30

Moyenne de trois expériences par l'hydrogène, sur une portion recueillie sur le mercure..... 17,20

Moyenne de deux expériences faites de même par du quadrisulfure de calcium..... 17,33

Moyenne..... 17,282

Acide carb.

Id. de deux expériences avec l'eau de chaux... 0,08

Id. de deux expériences avec la solution alcaline 0,085

Moyenne..... 0,082

Id. de quatre expériences faites sur un échantillon d'air recueilli par le mercure; hydrogène sulfuré..... 0,08

En outre, une forte trace d'acide sulfureux. Par conséquent la composition de cet échantillon est :

Azote.....	82,556 p. 100.
Oxygène.....	17,282
Acide carbonique.....	0,082
Hydrogène sulfuré....	0,080
Acide sulfureux.....	une forte trace.
	100,000

VI. Air recueilli au moyen du mercure, mine de Wheal-Vor, Penhale. Schiste. A un niveau de 36 brasses, quatre hommes travaillaient dans une galerie sans issue; la lumière brûlait avec difficulté; pesanteur spécifique 0,994.

Oxygène.

Moyenne de deux expériences avec l'hydrogène. 14,74

Id. de deux expériences avec le bioxyde d'azote. 14,77

Id. de deux expériences avec l'hydrogène (l'air avait été recueilli sur le mercure)..... 14,77

Id. de deux expériences avec le bioxyde d'azote 14,77

Moyenne..... 14,76

Acide carb.

Moyenne de deux expériences avec une solution de potasse..... 0,23

Moyenne de deux expériences avec une solution de potasse, sur de l'air recueilli sur le mercure... 0,23

Moyenne..... 0,23

Une trace d'hydrogène sulfuré et d'acide sulfureux restait dans les deux portions. Composition de ce gaz :

Azote.....	85,01 p. 100
Oxygène.....	14,76
Acide carbonique...	0,23
	100,00

VII. Mine de Great-Work. Granite : étain et cuivre, à 170 brasses de la surface, 30 brasses de tout puits. Deux hommes dans la cavité. Air pris au moment même où le feu avait été mis à la mine ; pesanteur spécifique, 991.

	Oxygène.
Moyenne de quatre expér. avec l'hydrogène..	16, 99
Id. de trois expér. avec le bioxyde d'azote..	17, 00
Id. de trois expériences avec le quadrisulfure de calcium.....	17, 05
Expérience avec une boule de platine.....	17, 00
Moyenne.....	17, 01
Moyenne de trois expér. avec l'eau de chaux.	0, 09
Id. de deux expériences avec la potasse.....	0, 10
Moyenne.....	0, 95

Composition du gaz :

Azote.....	82,895 p. 100
Oxygène.....	17,010
Acide carbonique...	0,095
	100,000

VIII. Mine de Great-Work, comme ci-dessus, à 160 brasses de la surface. Il y avait deux hommes dans la cavité à 30 pieds de tout puits. Air pris 15 minutes après un coup de mine ; pesanteur spécifique, 992.

	Oxygène.
Moyenne de deux expér. avec l'hydrogène....	15,1
Id. de trois expériences avec le gaz nitreux...	15,2
Id. de 3 expér. avec le quadrisulf. de calcium.	15,15
Moyenne.....	15,15
Moyenne de deux expér. avec l'eau de chaux..	0,14
Id. de deux expér. avec la solution de potasse.	0,15
Moyenne....	0,45

Composition du gaz :

Azote.....	84,705 p. 100
Oxygène.....	15,15
Acide carbonique...	0,145
	100,000

IX. Mine de Great-Work, comme ci-dessus, à 150 brasses de la surface; il y avait deux hommes dans la cavité. Air pris à 20 brasses de tout puits, immédiatement après un coup de mine ; pesanteur spécifique, 995.

	Oxygène.
Moyenne de deux expériences avec l'hydrogène.	16,30
Id. de deux expér. avec le bioxyde d'azote...	16,40
Id. de deux expériences avec l'hydrogène; le gaz avait été recueilli sur le mercure.....	16,48
Id. de deux expériences avec le quadrisulfure de calcium, même gaz que le précédent.....	16,60
Moyenne.....	16,45
	Acide carb.
Moyenne de deux expér. avec l'eau de chaux.	0,10
Id. de deux expérienc. avec la solut. de potasse.	0,097
Moyenne.....	0,099

Composition du gaz :

Azote.....	83,451 p. 100
Oxygène.....	16,45
Acide carbonique...	0,099
	100,000

ıe de Great-Work, comme ci-dessus, à 125 bras- surface; 23 brasses de tout puits; il y avait deux lans la cavité. Une demi-heure après un coup de santeur spécifique, 0,998.

	Oxygène.
ıe de trois expér. avec le bioxyde d'azote.	17,50
rois expériences avec l'hydrogène.....	17,50
trois expériences avec le quadrisulfure n.....	17,50
ɜ deux expériences avec l'hydrogène rcure, tiré d'une portion recueillie sur e.....	17,54
leux expér. avec le bioxyde d'azote, *dito*	17,56
Moyenne.....	17,544
ıe de deux expér. avec l'eau de chaux.	0,10
deux expériences avec l'eau de potasse.	0,10

ıvait observer une trace d'hydrogène sulfuré et ılfureux dans les portions de gaz recueillies sur le

sition du gaz :

Azote.....	82,356 p. 100
Oxygène.....	17,544
Acide carbonique....	0,100
	100,000

ne de Binner-Downs; mine de cuivre; dans le lerie horizontale de 104 brasses, à 18 brasses de . Il y avait deux hommes dans une cavité ascen- santeur spécifique, 0,996.

	Oxygène.
ne de quatre expériences avec l'hydrog.	16,73
deux expér. avec le bioxyde d'azote..	16,80
deux expériences avec le quadrisulfure n.....	16,77
trois expériences faites avec l'hydro-	

gène sur la cuve à mercure, avec un gaz recueilli sur le mercure..... 16,76

Id. de deux expériences avec le bioxyde d'azote, *dito* 16,76

Moyenne..... 16,764

Acide carb.

Moyenne de cinq expériences avec l'eau de chaux et la solution de potasse..... 0,09

Une forte trace d'hydrogène sulfuré, restait dans les gaz recueillis sur le mercure. La composition de ce gaz est donc

Azote.....	83,146 p. 100.
Oxygène.....	16,764
Acide carbonique...	0,090
Hydrogène sulfuré..	une forte trace
	100,000

XII. Mine de Carn-Brea, mine de cuivre, granite.

Le gaz a été pris immédiatement après avoir mis le feu à la mine, à 105 brasses de la surface et 25 de tout puits. Deux hommes dans la cavité. Pesanteur spécifique, 994.

Oxygène.

Moyenne de deux expériences avec l'hydrog... 16,72

Id. de trois expériences avec le bioxyde d'azote. 16,66

Id. de trois expériences avec le quadrisulfure de calcium..... 16,70

Moyenne..... 15,693

Acide carb

Moyenne de quatre expériences avec l'eau de chaux et solution de potasse..... 0,07

La composition de ce gaz est :

Azote.....	83,237 p. 100
Oxygène.....	16,693
Acide carbonique....	0,070
	100,000

XIII. Mine de Carn-Brea, comme ci-dessus, à 95 brasses; une machine soufflait de l'air. Il y avait deux hommes dans une cavité qu'on exploitait seulement pendant seize heures par jour; les gaz ont été pris trois quarts d'heure après un coup de mine. Pesanteur spécifique, 992.

	Oxygène.
Moyenne de trois expériences avec l'hydrog...	14,50
Id. de deux expér. avec le bioxyde d'azote...	14,64
Id. de trois expériences avec le quadrisulfure de calcium.....	14,40
Moyenne.....	14,51
	Acide carb.
Id. de trois expériences avec l'eau de chaux...	0,12
Id. de trois expériences avec la solution de potasse.....	0,14
Moyenne. ...	0,13

La composition de ce gaz est donc

Azote.....	85,36 p. 100
Oxygène.....	14,51
Acide carbonique. ..	0,13
	100,00

XIV. Mine de Tresavean, mine de cuivre dans le granite, à 156 brasses dans la galerie; 208 brasses de la surface. Il y avait deux hommes dans la cavité; le gaz fut pris immédiatement après avoir mis le feu à la mine, à 65 brasses de tout puits. Pesanteur spécifique, 993.

	Oxygène.
Moyenne de trois expériences avec l'hydrogène.	16,20
Id. de deux expér. avec le bioxyde d'azote...	16,50
Moyenne.....	16,35
	Acide carb.
Moyenne de deux expériences avec l'eau de chaux.....	0,13

Moyenne de deux expériences avec la solution de potasse..... 0,13

Moyenne..... 0,13

Il restait une légère trace d'hydrogène sulfuré.

La composition de cette portion de gaz est donc

Azote.....	83,52	p. 100.
Oxygène.....	16,35	
Acide carbonique....	0,13	
	100,00	

XV. Mine de Wheal-Ann. Mine d'étain dans le granite (a rise in the 80 fathomb. level); creux ascendant dans une galerie de 80 brasses, à 16 brasses de tout puits; il y avait deux hommes dans la cavité; on n'emploie pas la poudre. Pesanteur spécifique de l'air 995.

Oxygène.

Moyenne de six expériences avec l'hydrogène et le quadrisulfure de calcium..... 16,72

Id. de quatre expériences avec l'eau de chaux et la solution de potasse..... Acide carb. 0,08

La composition de ce gaz est donc

Azote.....	83,20	p. 100.
Oxygène.....	16,72	
Acide carbonique....	0,08	
	100,00	

XVI. Mine de Wheal-Ann. Comme ci-dessus; de 100 brasses, à 45 brasses de tout puits; une machine et une chute d'eau forçant l'air; extrémité d'un cul de four où travaillaient deux hommes; la poudre n'y avait pas été employée depuis quelque temps. Pesanteur spécifique 997.

Oxygène.

Moyenne de sept expériences avec l'hydrogène, le bioxyde d'azote et le quadrisulfure de calcium.. 18,22

Acide carb.

Moyenne de cinq expér. avec l'eau de chaux. 0,07

La composition de cette portion est donc

Azote.....	81,71	p. 100.
Oxygène.....	18,22	
Acide carbonique....	0,07	
	100,00	

Une portion de ce même gaz recueilli sur le mercure a donné la moyenne suivante :

Oxygène.....	18,34	p. 100.
Acide carbonique.....	0,07	

XVII. Mine de Consols, cuivre dans l'ardoise. Je n'ai eu d'autre renseignement, si ce n'est que le gaz avait été pris dans les galeries les plus profondes; j'avais donné les renseignements nécessaires pour remplir les flacons, et je suppose que les précautions nécessaires avaient été prises, les flacons m'étant arrivés dans la position renversée. Pesanteur spécifique 997.

Oxygène.

Moyenne de quatre expér. avec l'hydrogène... 17,93
Id. de deux expériences avec le bioxyde d'azote 17,82
Id. de trois expériences avec du quadrisulfure de calcium..... 17,88
Id. de deux expériences avec le phosphore.... 17,60
Id. de deux expériences avec la boule de platine..... 17,70

Moyenne..... 17,78

Acide carb.

Moyenne de trois expériences avec l'eau de chaux 0,06
Id. de trois expériences avec la potasse..... 0,06

Moyenne..... 0,06

cette explication inadmissible, en voyant que le dépôt de la bouteille entière ne dépassait pas un demi-grain, que l'eau était parfaitement limpide, et les sels après évaporation, d'un blanc de neige. L'eau devint douce après une courte exposition à l'air.

On n'a connu jusqu'ici l'existence de l'hydrogène sulfuré que dans quelques eaux minérales, celles d'Harrowgate et d'Aix-la-Chapelle. La première en contient par gallon 18$^{po.cub.}$,4, la dernière 44. On a attribué la production de ce gaz à quelque action inconnue des pyrites et autres sulfures métalliques (1). On sait aussi que la production d'hydrogène sulfuré est due à l'altération et à la fermentation de matières animales prises en masse. Il faut ajouter maintenant aux sources de ce gaz les bouillonnements gazeux de plusieurs vastes rivières et d'immenses étendues de l'Océan dans leur voisinage immédiat.

Chaque bouteille était convenablement bouchée et scellée, elle contenait environ trois pintes.

I. La première que j'examinai était de l'eau de la rivière de Sierra-Léone, prise à trois milles de son embouchure à marée basse, le 24 septembre 1839, par le commandant du brick de sa Majesté le *Dauphin*. Temps pluvieux.

En débouchant la bouteille, elle sentait fortement l'hydrogène sulfuré, le dépôt contenait seulement 0,5 de grain de matière végétale.

La densité était 1018,5. L'analyse calculée pour le gallon donna :

---

(1) L'action réciproque du sulfate de chaux et des matières organiques, considérée comme source d'une production de sulfure de calcium qui, sous l'influence de l'acide carbonique, fournit ensuite de l'hydrogène sulfuré, est bien connue. Non-seulement nous avons publié, dans ce Journal même, un important Mémoire de M. Fontan sur cet objet, mais déjà depuis longtemps, M. Henry avait signalé cette réaction dans les eaux d'Enghien. M. Daniell n'en a pas moins fait une observation intéressante, en rattachant comme on le verra plus loin, à cette cause déjà connue, des faits nouveaux ; mais l'ignorance où il suppose ici les chimistes n'est pas réelle. (R.)

Hydrogène sulfuré, 6$^{po.cub.}$,18.

	Grains.		
Chlore.....	943,14	Magnésie...	27,68
Acide sulf.....	82,70	Magnésium.	32,71
Chaux.....	19,14	Sodium....	563,33
			1668,70

Il y avait aussi dans cette eau une trace de potasse

Le dépôt des sels obtenus par évaporation équivalait à 1696 grains. La différence entre ce nombre et le résultat de l'analyse provient de l'impossibilité de déterminer la manière dont les acides et les bases sont combinés, et de la difficulté de dessécher les sels sans en décomposer quelques-uns.

II. Eau de la rivière Volta, prise en mer à vingt-huit milles de l'embouchure, par un vent O.-N.-O., par le schooner de sa Majesté *Fair Rosamond*. Latitude 5°,37 nord, longitude 1°,10 est, le 4 septembre 1839. La saison n'était pas pluvieuse.

Cette eau sentait aussi fortement l'hydrogène sulfuré. Le dépôt de matière végétale ne dépassait pas 0,3 de grain. Elle contenait par gallon :

Hydrogène sulfuré, 6$^{po.cub}$,99.

Chlore.....	1411^{gr},68	Magnésium..	12,46
Acide sulf.....	92, 47	Sodium.....	916,20
Chaux.....	14, 75	Potassium...	des traces.
Magnésie.....	35, 70		2483,26

Pesanteur spécifique..... 1025,4.
Dépôt des sels évaporés..... 2480,0.

III. Eau de la rivière Bonny, prise à l'ancre par le schooner de sa Majesté *Fair Rosamond*, le 9 octobre 1839, à la fin de la saison pluvieuse.

Cette eau n'avait qu'une légère odeur d'hydrogène sulfuré, le dépôt de matière végétale pesait seulement 0^{gr},4. L'analyse donna :

Hydrogène sulfuré, 1$^{po.cub}$,21.

Chlore.....	970^{gr},92	Magnésium..	47,11
Acide sulf....	92, 10	Sodium.....	553,06
Chaux.....	17, 36	Potassium...	traces.
Magnésie.....	33, 65		1714,20

Dépôt des sels évaporés..... 1718

Densité..... 1019,0

IV. Eau de la rivière Mooney, qui se décharge dans la partie N. E. de la baie de Corisco; elle fut prise à 1 mille en deçà de l'embouchure par le brick *Nautilus,* le 4 septembre 1839. On n'était pas encore dans la saison des pluies.

Elle ne sentait pas l'hydrogène sulfuré et n'en fournit point à l'analyse. Le dépôt dans la bouteille ne dépassait pas 0^{gr},1.

Chlore....	1184^{gr},11	Magnésium....	28,54
Ac. sulf...	109 ,80	Sodium.....	732,32
Chaux....	14 ,17	Potassium.....	des traces.
Magnésie..	44 ,78		2113,72

Dépôt des sels évaporés.... 2104

Densité..... 1022,5

V. Eau de la rivière de Gaboon, prise à 8 milles en deçà de l'embouchure de la rivière, par le brick *le Nautilus,* le 10 septembre 1839. On n'était pas encore dans la saison pluvieuse.

Point d'hydrogène sulfuré; dépôt de la bouteille 0^{gr},2.

Chlore.....	1130,75	Magnésium....	35,41
Ac. sulf....	120,08	Sodium.....	683,00
Chaux.....	23,05	Potassium	des traces.
Magnésie...	43,58		2035,87

Dépôt par évaporation..... 2060

Densité..... 1023

VI. Eau de la baie du cap Lopez, prise par *le Nautile,* le 28 septembre 1839, à environ 10 milles du cap. Les pluies

avaient commencé. Forte odeur d'hydrogène sulfuré. Dépôt de la bouteille o^{gr},1.

Hydrogène sulfuré, 11^{p},69.

Chlore.....	1467,37	Magnésium....	28,44
Ac. sulf....	115,20	Sodium.....	921,60
Chaux.....	23,21	Potassium.....	traces.
Magnésie...	41,02	Iode.....	traces.
			2596,84

Dépôt par évaporation..... 2576
Densité..... 1026

VII. Eau de la rivière Congo, prise à l'embouchure en avant de la pointe du Requin, par le sloop *Wolverine*, le 11 novembre 1839, quatre jours avant les pluies régulières. Néanmoins il avait déjà plu.

Légère odeur d'hydrogène sulfuré. Dépôt de matière végétale dans la bouteille, o^{gr},4.

Hyd. sulf. o^{p}·,67.

Chlore.....	106,11
Ac. sulf.....	2,30
Sodium.....	70,00
Chaux, etc. traces	178,41

Dépôt par évaporation..... 188
Densité..... 1002

Ce fut le seul cas où les sels furent colorés par une matière végétale.

VIII. Eau de la rivière Congo, prise à 35 milles au-dessus de la rivière, par le sloop *Wolverine*, le 11 novembre 1839, quatre jours avant les pluies régulières, mais après de légères pluies.

Pas d'hydrogène sulfuré. Le dépôt de la bouteille pesait seulement o^{gr},1. Le dépôt de matière saline était seulement de 8^{gr} par gallon, et se composait de chlorures de sodium, de magnésium et surtout de sulfate de chaux. Densité, 1000,3.

IX. Eau de la rivière Bango, prise à 40 milles de l'em-

chure, par le schooner le *Fair Rosamond,* le 26 décembre 1839.

Forte odeur d'hydrogène sulfuré. Eau assez claire, mais contenant une matière gélatineuse ressemblant au frai de poisson. Le dépôt de la bouteille ne pesait cependant que $0^{gr},15$.

Densité..... 1026,4

Hydrogène sulfuré..... $4^{p.c.},35$
Sels desséchés..... 2736^{gr}.

Le dépôt contenait chlore, 1513, acide sulfurique, 128, combinés à des bases que je n'ai pas encore dosées, mais qui sont la magnésie, la soude et la chaux.

X. Eau prise par le schooner *Fair Rosamond,* hors des rivières Bango et Dande, le 29 décembre 1839.

Densité 1026,7. Point d'hydrogène sulfuré. Le dépôt salin était formé de 2624^{gr} par gallon, se partageant en chlore 1430, acide sulfurique, 125,4, combinés aux mêmes bases.

J'ai trouvé dans les *Transactions philosophiques* de 1819 un Mémoire du docteur Marcet, sur la densité et la température des eaux de la mer dans différentes parties de l'Océan, avec leurs analyses. Sur seize échantillons, il en trouva un, apporté par le capitaine Basil Hall de la mer Jaune, qui était fortement chargé d'hydrogène sulfuré. Il observa aussi un échantillon pris en faisant voile vers l'Amérique du Sud, exhalant l'odeur de gaz sulfuré, et qui avait noirci la bouteille où il était renfermé.

Depuis mon rapport, sir William Burnett a bien voulu me montrer les analyses de M. Garden, exécutées sur quelques bouteilles recueillies par le navire le *Scout,* en mars 1839, dans la rivière Bonny.

1°. Eau de la rivière de Bonny, prise à un demi-mille en deçà de l'embouchure, le 12 mars 1839, avant le commencement de la saison pluvieuse. Chaque pinte contenait 245^{gr} de

matières salines formées de sulfate de magnésie et de chaux, de chlorure de magnésium et de sodium.

Hydrogène sulfuré $5^{p.c.},44$ par gallon.

2°. Eau de l'embouchure de la rivière Lagos. Chaque pinte donnait 240 grains de dépôt salin, et contenait $1^{p},75$ par gallon d'hydrogène sulfuré, avec les mêmes bases que dans l'échantillon précédent.

3°. Eau de la rivière Bonny, prise le 12 mars 1839, à un mille et demi de l'embouchure. Elle contenait 200^{gr} des mêmes sels par pinte, et $4^{p.c.},04$ d'hydrogène sulfuré par gallon.

4°. Eau de la rivière Bonny, prise à 3 milles de l'embouchure. Elle contenait 208 grains par pinte des mêmes sels, et $28^{p.c.},0$ d'hydrogène sulfuré par gallon.

La détérioration du cuivre fut manifeste dans le doublage de *la Bonetta*, dont on m'envoya trois feuilles.

Deux d'entre elles étaient uniformément couvertes à l'extérieur d'une croûte verte, et en dedans d'une croûte noire d'une épaisseur égale. Elles étaient amincies dans plusieurs endroits, et trouées en quelques points.

La troisième était fort amincie, et portait de grands trous. Elle se cassait sous les doigts. Un de ces trous avait 18 pouces de long sur $4\frac{1}{2}$ pouces de large. La croûte noire était du sulfure et la couche verte de l'oxychlorure de cuivre; on ne peut douter que le sulfure ne provienne du gaz hydrogène sulfuré agissant sur les deux faces; il est ensuite changé par l'eau de mer en chlorure de cuivre.

Deux faits suffiront, je pense, pour prouver l'importance de cette réaction, envisagée sous le rapport commercial.

1°. Il y a peu d'années, une compagnie nouvellement formée vendit du cuivre pour doubler des navires à des négociants qui les envoyèrent sur la côte d'Afrique. Peu de mois après, ils revinrent avec leur doublage dans le même état que celui de *la Bonetta*. Un procès s'ensuivit, et le jour du jugement, des hommes marquants dans la science ayant affirmé qu'il n'y avait rien dans l'eau de mer qui

pût altérer le cuivre à ce point, le jury rendit un verdict favorable aux plaignants.

2°. Un fabricant de cuivre qui n'avait pas entendu parler de mes recherches, vint me trouver avec deux feuilles de cuivre dont il désirait l'analyse: l'une était neuve, et l'autre appartenait au doublage d'un navire revenant d'Afrique. Les propriétaires du navire l'avaient poursuivi, à cause de l'altération complète du métal au bout de quelques mois. Je lui donnai alors un exemplaire de mon Rapport sur les eaux de la côte occidentale d'Afrique; il l'envoya aux négociants, et la poursuite cessa immédiatement.

Je crois qu'on peut remédier à ces accidents par les moyens qu'a indiqués sir Davy, en y ajoutant seulement quelques précautions convenables. Le zinc protége le cuivre non-seulement contre les chlorures en dissolution dans l'eau de mer, mais aussi contre l'hydrogène sulfuré. Mes expériences le prouvent d'une manière évidente, et cela s'accorde d'ailleurs avec celles de M. Faraday.

Dans sa Table, le fer est beaucoup au-dessus du cuivre dans l'ordre électro-négatif, et le zinc est au-dessous. Le plomb est aussi au-dessus du zinc, tandis que dans les solutions acides ordinaires le zinc et le fer sont placés au-dessous de ce métal (1).

Il me semble qu'au lieu de garder le métal protecteur toujours au contact du cuivre, on pourrait ne l'y mettre que quand l'occasion l'exige. On pourrait le faire au moyen d'une barre qui, dans une position, établirait la communication et dans l'autre la romprait.

Il est impossible de ne pas chercher à se rendre compte de l'origine de ce gaz délétère qui se trouve ainsi sur les côtes d'Afrique, dans une étendue de plus de 16° de latitude. L'action des volcans se présente immédiatement à l'esprit, mais il faut y renoncer, puisqu'il n'y a aucun

(1) *Transact. philos.*, p. 113, an. 1840.

phénomène pareil le long de ces côtes; et je crois pouvoir démontrer que la cause réelle se trouve dans l'action d'immenses quantités de matières végétales sur les sulfates de l'eau de la mer.

Les expériences suivantes semblent le prouver.

En novembre 1840, je plaçai une certaine quantité de feuilles nouvellement tombées dans trois vases pouvant contenir chacun un gallon et demi d'eau.

Dans le premier, je versai un gallon d'eau de rivière; dans le second, la même quantité de la même eau, tenant en dissolution 3 onces de sel commun; et dans le troisième, la même quantité d'eau tenant en dissolution 3 onces de sulfate de soude cristallisé.

Les trois vases furent placés dans une étuve dont la température variait de 70 à 110°. On ajoutait de l'eau au besoin, et l'on brassait le mélange.

En examinant le liquide trois mois après, je trouvai les résultats suivants :

Le n° 1 avait une odeur désagréable, mais ne faisait rien au papier trempé dans l'acétate de plomb.

Le n° 2 n'avait pas d'odeur désagréable et ne faisait rien non plus au papier mouillé d'acétate de plomb;

Le n° 3 avait une odeur plus fétide encore que celle de l'hydrogène sulfuré pur, et noircissait immédiatement le papier en lui donnant le reflet lustré du sulfure de plomb;

Depuis mon rapport à l'amirauté à ce sujet, j'eus connaissance d'un Mémoire du Dr Amédée Fontan sur les eaux minérales de l'Allemagne, de la Belgique, de la Suisse et de la Savoie. Il pense qu'on doit attribuer la présence de l'hydrogène sulfuré à la décomposition des sulfates par les matières végétales. Mon ami, M. Fownes, me rappela aussi un fait curieux relatif à la dissolution du tournesol à l'abri du contact de l'air : la teinture brunit, mais se recolore au contact de l'air; M. Vogel trouva que la solution contient toujours du sulfate de potasse qui se décompose pour produire cet

effet de désoxydation. Quelques gouttes d'hydrogène sulfuré produisent le même effet en quelques jours; la teinture brunit, mais reprend promptement sa couleur à l'air : le fait est d'autant plus intéressant, que le gaz n'est jamais en quantité assez considérable pour être découvert par les réactifs.

Mais maintenant on peut se demander si l'existence de ce gaz délétère dans l'atmosphère, conséquence de sa dissolution dans l'eau, ne doit pas accompagner ces miasmes qui ont été si funestes à tous les explorateurs de l'Afrique. Je fus surpris d'abord que personne n'eût observé l'odeur nauséabonde que devait dégager l'eau chargée de ce gaz à la température élevée des régions équinoxiales; lisant alors le récit d'une expédition dans l'intérieur de l'Afrique en remontant le Niger, entreprise par MM. Mac Gregor Laird et Oldfield, je trouvai les observations suivantes :

« Les principales causes de mortalité sont, je crois, le passage d'un Océan sans bornes à une rivière étroite et tortueuse, l'absence des brises de mer, et le dégagement de miasmes putrides qui s'élevaient de marécages environnants. Il faut en avoir senti l'horrible fétidité pour concevoir l'accablement physique et moral et les sensations de malaise et de dégoût auxquelles on finit souvent par succomber. »

Ces observations étaient faites dans les mêmes lieux d'où provenaient les eaux que j'ai examinées.

On sait que $\frac{1}{1500}$ d'hydrogène sulfuré mêlé à l'atmosphère agit comme un poison sur de petits animaux, et les sensations décrites par M. Laird sont précisément celles qu'ont éprouvées les personnes soumises à l'influence du gaz délétère en petites quantités. On ne peut guère considérer comme improbable qu'un corps qui peut agir comme un poison violent, mêlé en proportions assez peu considérables à l'atmosphère, n'aggrave encore des accidents qui pourraient d'ailleurs avoir une autre origine.

Il est digne de remarque qu'au moment d'entrer dans la

rivière on reconnut la cause d'une vapeur malsaine dont on avait longtemps souffert; les sacs de coco s'étaient pourris et le coco était tombé dans l'eau salée de la cale : c'était un vrai moyen de dégager de l'hydrogène sulfuré. La suite que j'ai donnée à ces recherches me prouve que les plus funestes accidents dus à la *mal aria* sont liés avec la production d'hydrogène sulfuré.

Voici une Note insérée dans le vingt-neuvième volume des *Annales de Chimie* par M. Gaetano Giorgini qui confirme parfaitement mon opinion.

M. Giorgini a porté son attention sur l'état de l'atmosphère dans le voisinage de certains marais aux bords de la Méditerranée, et, en se reportant aux dates et à différents documents, il a justifié la grande importance qu'il attache à leur communication temporaire avec les eaux de la mer.

Au sud des Apennins se trouve un rivage marécageux bordé à l'ouest, pendant douze milles, par la Méditerranée, au sud par la rivière Serchio, au nord par le Frigido, torrent qui prend sa source aux pieds des Apennins, dans l'état de Massa Carrara, coule pendant trois ou quatre milles sur la terre et se jette dans la mer. La plaine a trois ou quatre milles de largeur, et elle est partagée en trois bassins par le Camajore et la Pietra-Santa. La pluie et les eaux de sources se déchargent dans la mer par des courants naturels ou artificiels qui traversent le banc de sable existant du côté de la mer.

Quand les eaux de la mer montent, aidées par un vent de N.-O., elles remplissent les bassins et inondent la contrée jusqu'au pied des montagnes. Le mélange ainsi formé n'étant pas renouvelé pendant l'été, se corrompt et répand l'infection dans le voisinage.

C'est ainsi que les effets de la *mal aria* se reproduisirent annuellement dans la contrée; la population ne se composait que d'enfants débiles et d'hommes malades : on n'y connaissait pas la vieillesse. Tout essai d'éviter le fléau en vivant sur

les collines était vain, et si tels en étaient les effets sur les naturels du pays, ils étaient bien plus rapides encore sur les étrangers. Une seule nuit passée dans le mois d'août ou de septembre, donnait inévitablement la mort au voyageur assez imprudent pour rester aussi longtemps dans ce pays infecté.

Tel fut l'état des choses jusqu'en 1741 ; déjà Gemignano, Rondelli, Eustachio Manfredi et B. Zendroni avaient insisté sur la nécessité d'exclure les eaux de mer des marais, et en 1741 une écluse permettant à l'eau des marais de sortir, mais empêchant celle de la mer de rentrer, fut construite à l'embouchure de la Burlamacca. Cette tentative fut couronnée d'un succès complet, et fut suivie d'une disparition rapide des maladies, et d'une augmentation proportionnelle de la population. En 1809-10, 11, on prit avec le même succès les mêmes mesures aux environs de Montignoso. Enfin les écluses de Motrone et Tonfalo furent terminées en 1821 ; depuis ce temps les maladies ont complétement cessé sur tous ces points.

M. Darwin, dans son intéressant journal de voyage de l'*Adventure* et du *Beagle*, parle souvent de localités semblables sur la côte du Pérou. Il mentionne l'efflorescence des sulfates de soude et de magnésie à la surface du sol, et l'odeur fétide de la vase des lacs salés.

Les fièvres de l'Inde ne peuvent-elles pas avoir la même origine? Le sol contient en abondance des nitrates de potasse et de soude, mais aussi des sulfates de soude et de magnésie. Ces sels étant lavés par les pluies périodiques qui entraînent aussi les feuilles flétries, rien n'empêche la réaction réciproque de se produire.

Peut-être aussi les fièvres périodiques qui affligent les villes de New-Yorck et de Charlestown sont-elles en rapport avec le mélange de matières animales et végétales aux eaux de mer. Un officier supérieur de marine m'a informé que pendant la guerre avec l'Amérique, on avait remarqué

dans le doublage des vaisseaux, des altérations aussi rapides que sur la côte d'Afrique. Ne serait-il pas alors également probable que l'eau à l'embouchure des vastes rivières du continent américain soit aussi chargée d'hydrogène sulfuré.

Est-il impossible que quelques parties de nos côtes, celle d'Essex par exemple, ne doivent leur insalubrité à de semblables décompositions? La vase de la Tamise peut s'y prêter assurément, et il existe une opinion reçue, que le doublage des vaisseaux se perd plus rapidement dans la Medway qu'à Woolwich ou en d'autres endroits de la Tamise.

J'ai vu dans le numéro de janvier dernier des *Annales* de Liebig, que le docteur Clemm avait examiné quelques bouteilles d'eau prises sur les côtes d'Angleterre, du côté de Barmouth, ainsi qu'à Aberystwyth et à Tenby; il y trouve une proportion frappante d'hydrogène sulfuré. Il paraît penser, il est vrai, que la chute dans la bouteille de quelques fragments de la cire du bouchon pourrait avoir contribué à la production du gaz.

La bonté de sir Isambard Brunnel m'a fait connaître un phénomène de ce genre qui suivait les progrès du tunnel sous la Tamise et qui faisait beaucoup souffrir les ouvriers : c'est le dégagement abondant du gaz carboné et sulfuré; en 1837, l'odeur était excessivement fétide. Le mélange gazeux se précipitait souvent avec force en sortant des jointures du bouclier sous la forme d'une flamme, longue quelquefois de plusieurs pieds, et accompagnée de sifflements ou de grondements prolongés.

En 1838, l'hydrogène sulfuré n'était pas accompagné de l'énorme quantité de gaz carburé dont il était mêlé l'année précédente, mais ses effets n'en furent pas moins fâcheux: évanouissements, maux de tête, et dans un cas même, on observa le délire.

Quant au remède, il est fort simple: le chlore détruit l'hydrogène sulfuré. D'abondantes fumigations de chlore seront donc les moyens infaillibles de prévenir le retour de

pareils accidents. Les lords de l'Amirauté ont reçu ces indications avec indulgence ; ils ont fourni à l'expédition d'Afrique les moyens de faire un fréquent usage du chlore, et j'ai eu la satisfaction d'apprendre que les faits que je viens de vous soumettre ont eu pour effet d'augmenter la confiance, non-seulement des hommes généreux qui se sont dévoués à une aussi périlleuse entreprise, mais aussi des nombreux amis qui en attendent les résultats avec anxiété.

Considérations sur l'insalubrité de l'air dans les Maremmes ;

PAR M. PAUL SAVI,

Professeur à l'Université de Pise (1).

(Traduit de l'italien par M. Félix Leblanc.)

L'important Mémoire de M. Daniell ayant fixé l'attention des savants sur la production d'hydrogène sulfuré qui provient de l'action réciproque des sulfates et des matières organiques, nous avons cru convenable de reproduire ici un Mémoire peu connu de M. Savi où la même réaction se trouve indiquée déjà comme une des causes les plus influentes de la *mal aria*. (R.)

Il est généralement connu que plusieurs parties de la Toscane et diverses régions de l'Italie méridionale sont affligées du fléau désigné dans le pays sous les noms de *cattiv' aria* ou *mal aria* (mauvais air), le langage ordinaire paraissant ainsi attribuer les effets morbides à la constitution de l'atmosphère dans ces localités. L'examen des causes d'insalubrité de diverses régions du sol toscan a déjà préoccupé plusieurs savants, et l'auteur de ce Mémoire a cher-

(1) Ce Mémoire a été lu à la section de Géologie, au congrès scientifique tenu à Pise au mois d'octobre 1839, et publié dans le *Nuovo Giornale dei litterati*, nos 106 et 107.

de son côté à éclairer une question aussi importante, out à une époque où les efforts généreux du souverain dirigés vers le but d'assainir ces localités. M. Savi ance d'abord qu'il ne se croit pas à même d'indiquer le ède propre à détruire le fléau ; l'objet de son Mémoire, cipalement géologique, est de passer en revue les dies localités insalubres, en examinant avec soin la conition de leur sol, et de faire particulièrement connaître régions où l'insalubrité paraît d'abord ne pas résulter causes ordinairement admises, afin de rechercher dans phénomènes propres à ces lieux l'origine de cette insalué ; les lumières acquises dans ces cas particuliers pourront luire peut-être à trouver un lien commun entre les efmalfaisants de localités diverses et que l'on serait tenté tribuer à des causes très-différentes.

ous allons suivre l'auteur dans les diverses parties de Mémoire.

Insalubrité dans le pays de Volterra.

I. Savi commence par l'examen des vallées basses des irons de Volterra, où l'absence de marais ne permet pas pothèse la plus commune sur l'origine de l'insalubrité. pays présente en effet un terrain formé par des dépôts ins très-étendus d'époque tertiaire, lesquels sont com-s en grande partie de marnes argileuses grises (*matta-*); ces terrains soulevés sur plusieurs points par les ro- ignées, altérés sur d'autres points par des émanations erraines, renferment souvent dans leur sein des masses niteuses imprégnées de soufre et souvent de sel marin ; oches ignées constituent la cîme des monts, ses flancs formés de ce *mattajone*, soulevé, altéré et imprégné ypse et de sel marin ; les vallées sont aussi formées de *tajone*.

r, au fond de ces vallées, non-seulement près des cours u, mais aussi sur le flanc des collines et même à une

certaine élévation, règne la *mal aria*, au point de frapper annuellement une grande partie des habitants non-seulement de fièvres intermittentes opiniâtres, mais quelquefois aussi de fièvres pernicieuses.

L'auteur est conduit à repousser les hypothèses qui attribuent l'insalubrité aux changements brusques de température, à l'humidité, etc., attendu que d'autres localités placées dans des circonstances très-défavorables à cet égard ne subissent pas les influences morbides.

Il s'arrête à une autre opinion existant déjà en Toscane, qui, bizarre au premier abord, lui paraît n'être pourtant pas privée de quelque fondement. On dit que ces terrains, après avoir été desséchés par les chaleurs de l'été, recevant l'action des eaux pluviales, éprouvent une espèce de fermentation, que la terre *bout* (*ribolle*), comme on dit communément, et qu'en conséquence de cette *ébullition*, il se dégage des miasmes délétères, source des maladies et particulièrement des fièvres intermittentes. Ce qu'il y a de certain, c'est que les maladies ne commencent ou du moins ne deviennent communes qu'après les pluies ou les inondations ; plus il y a d'alternatives de chaleur et de pluie dans une année, plus les ravages des fièvres se font sentir ; c'est là un fait acquis à l'expérience, qu'aucun habitant des maremmes ne voudrait nier : il est cité d'ailleurs par plusieurs auteurs, notamment par le célèbre Brocchi (1).

Il est également avéré que ces circonstances favorables au développement des fièvres s'appliquent non-seulement aux terrains marécageux, mais aussi à certains terrains dépourvus de marais, tels que ceux du pays de Volterra.

Au lieu de dire, comme cela arrive souvent, que les influences morbides sont dues au mélange des eaux pluviales et des eaux stagnantes, il serait donc plus rationnel de dire qu'elles sont dues à l'action des eaux sur certains terrains desséchés.

(1) *De l'état physique du sol romain*, page 276.

Examen du fond des marais malsains.

M. Savi commence par faire remarquer que tous les marais ne paraissent pas capables de développer des miasmes nuisibles : de là la distinction nécessaire entre les *marais malsains* et les *marais indifférents*. Il est connu maintenant que ces derniers sont ceux qui ne contiennent presque pas de sels en dissolution, et dont le fond ne contient pas de produits minéraux marins. Tel est le marais de *Bientina;* on pourrait dire aussi celui de *Maciuccoli*. Les marais *malsains* sont ceux qui tiennent en solution une proportion notable de sels, et on peut les diviser en trois catégories, suivant que ces sels proviennent, 1° d'eaux minérales (lac de *Rimigliano,* etc.); 2° des eaux de la mer; 3° du terrain même anciennement occupé par les eaux de la mer (marais de *Castiglion della Pescaja,* de *Scarlino,* etc.) Dans les maremmes toscanes les marais malsains appartiennent surtout à ces deux dernières catégories; ce sont pour la plupart d'anciens petits golfes d'abord changés en bas-fonds par les attérissements des fleuves, puis plus ou moins séparés de la mer par des barrages de sables amoncelés par les vents et les flots.

D'autres, et ce sont ceux du troisième genre, bien que privés de toute communication avec la mer, ont un fond formé de boues marines. L'origine marine de ce fond est suffisamment prouvée par les coquilles notamment par le *Cardium edule* et les feuilles d'algues que l'on trouve en creusant. L'été ces marais se dessèchent et des efflorescences salines apparaissent à la surface.

Terrains marécageux récemment bonifiés.

M. Savi confirme ce fait déjà connu et décrit par le comte Fossombroni, d'abord dans sa dissertation sur la *val di Chiana,* puis dans son rapport sur les maremmes toscanes présenté au grand-duc (1), savoir, qu'un terrain marécageux

(1) Inséré dans l'ouvrage de M. Ferdinand Tartini, *sur la bonification des maremmes de Toscane.*

desséché en favorisant l'écoulement des eaux, et déjà recouvert par les attérissements artificiels ou *colmate*, continue à être encore assez longtemps un foyer d'insalubrité ; la bonification est lente et ne devient complète qu'au bout de quelques années : il semble qu'il faut que le terrain sain qui recouvre le fond anciennement marécageux ait acquis une certaine épaisseur et compacité pour soustraire ainsi le terrain nuisible aux influences atmosphériques.

Le fait de la présence du sel marin dans ces terrains dangereux n'a pas échappé au comte Fossombroni, qui en a reconnu l'influence et a désigné sous le nom de *salmastraje* ces sortes de terrains desséchés susceptibles de produire des efflorescences aux époques de sécheresse. Ces *salmastraje* sont incapables de développer la végétation de la plupart des plantes qui croissent dans les terrains sains : lorsqu'elles s'étendent, la végétation des terrains contigus devient languissante et finit par être détruite. Peu à peu cependant une végétation nouvelle s'établit, la seule qui convienne à ces terrains; on y rencontre des *atriplex, salsola, statice*, etc.

M. Savi croit pouvoir assimiler le terrain du pays de Volterra à ces *salmastraje* comme recélant dans son sein des éléments capables d'éprouver des modifications analogues à celles qui se produisent dans les *salmastraje*.

Le terrain du *Mattajone*, travaillé par les roches éruptives et par les émanations souterraines, contient du gypse, du soufre, du sel gemme accompagné de sulfate et de carbonate de soude, etc. Il faut ajouter une substance oléo-bitumineuse qui fournit des exhalaisons sensibles à l'époque des chaleurs, et lorsque les surfaces de contact du *Mattajone* avec l'air sont renouvelées. Ajoutons que malgré sa stérilité, ce sol renferme cependant quelques traces de végétation, en sorte qu'aux matériaux renfermés dans le sol qui nous occupe il faut ajouter un certain nombre de débris de végétaux secs ou en décomposition. Ces terrains paraissent donc à beau-

faits chimiques connus, l'auteur attribue l'existence de l'hydrogène sulfuré à la réduction des sulfates en sulfures sous l'influence des matières organiques en décomposition ; l'analyse prouve d'ailleurs que la proportion des sulfures est moindre dans le lac que dans les eaux minérales qui y affluent. L'auteur n'ose encore se prononcer sur la question de savoir si l'insalubrité de l'air est due à l'hydrogène sulfuré, à l'hydrogène carboné, ou à des miasmes putrides dont le développement serait en relation avec la production de ces deux gaz ; il s'est contenté de signaler les circonstances saillantes observées dans cette localité : la présence d'eaux minérales dans un terrain contenant des matières végétales en décomposition, en insistant sur la présence des sulfates dans ces eaux.

Insalubrité causée par l'algue en putréfaction.

L'auteur indique que cette putréfaction s'établit dans les lieux où les amas d'algues sont baignés par les eaux douces en communication avec les eaux de la mer : les végétaux en décomposition exhalent une odeur manifeste d'œufs pourris et ces lieux deviennent des foyers d'insalubrité ; il y règne des fièvres intermittentes et même des fièvres pernicieuses. Il cite comme exemple, le port de *Vada*, le *Porto nuovo* de *Piombino*, l'ancien port de *Talamone*, etc. La présence du gaz hydrogène sulfuré dans les produits de la putréfaction a été démontrée : quelques expériences ont prouvé que l'algue n'entrait pas en putréfaction dans l'eau pure, en dégageant de l'hydrogène sulfuré. La présence des sulfates dans l'eau est nécessaire. Cette putréfaction, au surplus, n'est pas propre à l'algue seulement, mais à beaucoup de végétaux portés dans des eaux marines.

Les gaz hydrogène sulfuré et carboné peuvent-ils directement ou indirectement rendre l'air insalubre ?

On a depuis longtemps attribué la cause de l'insalubrité de l'air à ces gaz ; cette observation a été combattue, rela-

tivement à l'hydrogène sulfuré, par plusieurs savants qui observèrent que les émanations des *solfatares* et des *lagoni* du *Siennois* et du *Volterrano*, qui contiennent une proportion assez notable de ce gaz, ne déterminent pas les maladies des maremmes chez ceux qui respirent l'air de ces localités. La même observation s'applique à l'air des lagunes de Venise. Ces faits incontestables prouvent que l'hydrogène sulfuré n'est pas toujours capable de produire les fièvres. Mais, comme dans toutes les localités des maremmes où règne un air malsain, on voit le gaz hydrogène sulfuré ou carboné, surtout le premier, prendre naissance, on est naturellement tenté de regarder leur formation comme étant au moins liée avec la cause de l'insalubrité.

L'auteur ne veut pas cependant affirmer que l'insalubrité dépende d'une cause unique : diverses circonstances peuvent concourir à développer les influences nuisibles ou à augmenter beaucoup leur malignité. Tel est l'effet déjà attribué par plusieurs savants à l'influence des vents du midi et au *sirocco*, qui, refoulés par la chaîne des Apennins, paraissent accroître avec énergie l'insalubrité, tandis que les vents du nord exercent une influence favorable dans les pays insalubres.

Conclusions.

Il paraît prouvé que les lieux exposés à éprouver les effets de l'air insalubre sont :

1°. Les terrains renfermant des amas d'eaux stagnantes et salées, ou les terrains non immergés, mais qui renferment des matières salines et des substances organiques, lorsque les pluies d'été viennent à les humecter ;

2°. Les terrains recevant des eaux minérales contenant des sulfates et chlorures, lesquelles séjournent sur des matières organiques en décomposition ;

3°. Les plages où s'accumulent des amas d'algues qui sont ensuite baignés par les eaux douces ou par un mélange d'eaux douces et d'eaux salées.

Comme une hypothèse résultant des faits observés, l'auteur signale les gaz hydrogène sulfuré et carboné, sinon comme les agents directs des influences délétères, au moins comme jouant un rôle dans le développement de la *malaria*. En un mot, l'origine de l'air insalubre serait liée à la production de ces gaz hydrogénés.

RECHERCHES CRISTALLOGRAPHIQUES;

PAR M. DE LA PROVOSTAYE.

(Suite.)

Hyposulfites.

La nature et la composition des hyposulfites sont l'une et l'autre mal connues. Leur histoire chimique est encore à faire. Les travaux annoncés par MM. Langlois et Persoz, et quelques autres chimistes, viendront sans doute bientôt éclairer cette partie de la science. En attendant, j'apporte mon faible tribut en faisant connaître la forme de l'hyposulfite de soude ordinaire et celle de la combinaison nouvelle examinée par M. Langlois, qu'on avait d'abord regardée comme de l'hyposulfite de potasse et qu'il a trouvée contenir un acide nouveau S^3O^5.

Hyposulfite de soude.

D'après Vauquelin (*Annales de Chimie*, tome XXXII, page 297), la forme de ce sel est celle d'un prisme à quatre pans inclinés les uns sur les autres et terminé à ses extrémités par des pyramides très-courtes.

L'hyposulfite de soude que j'ai examiné m'a été remis par M. Pelouze. Comme il n'était pas bien cristallisé, on l'a redissous et abandonné à une lente évaporation. Par ce procédé on a obtenu de gros cristaux d'une grande transparence bien réfléchissants, mais dont la surface s'humecte dans un air humide.

Sa forme appartient au système monoklinoédrique (prism. obl. rect.) (voyez *fig. I, Pl. VI*).

Notation des faces.

$o = + P$, $M = \infty P$,
$i = + P\frac{1}{3}$, $L = \infty P\frac{1}{2}$,
$b = 0P$, $T = \infty P\infty$.
$n = (P\infty)$,

		Angles mesurés.	Calculés.
n : b		= 165° 5′,	
T : n		= 104.55,	
b : T		= 90	
L : T		= 124.15,	124°15′,
L : M		= 164.30,	
M : M		= 142.24,	
o : b		= 135.10,	135.14,
o : n	adjac.	= 138 envir.	138.14,
M : b		= 103.12,	
L : n		= 109.44,	109.43,
o : o		= 153	153. 2,
T : i		= 126 envir.	125.44,
i : o		= 157.48,	157.43,
i : b		= 126.30 envir.	126.21.

Axes.

$$a : b : c = 0{,}7825 : 1 : 2{,}8507.$$

Inclinaison des deux axes a et b,

$$\gamma = 76°2'.$$

Le sulfate de soude anhydre a été examiné par M. Mitscherlich (*Annales de Chimie et de Physique*, t. XXXVIII, p. 56). Sa forme appartient au système rhombique. Le sulfate de soude ordinaire à 10 atomes d'eau

$$(NaO, SO^3 + 10H^2O)$$

cristallise dans le système monoklinoédrique. Voici sa forme (voy. *fig.* 2, *Pl. VI*), et les éléments nécessaires pour calculer les angles d'après Mohs.

Axes.

$$a : b : c = 1{,}109 : 1 : 0{,}8962.$$

Angle des axes.

$$72°15'.$$

Sel de M. Langlois (Sulfhyposulfate de potasse).

Le sulfhyposulfate de potasse (KO, S^3O^5) forme des cristaux plats terminés en biseaux très-aigus. Ils sont fort nets

et réfléchissent bien la lumière. Il est donc facile de constater qu'ils appartiennent au système rhombique (prism. rect. droit.) (Voyez *fig.* 3, *Pl. VI.*)

Notation des faces.

$$M = \infty P, \qquad n = \breve{P}\infty,$$
$$l = \infty P2, \qquad o = P\tfrac{1}{2}.$$

Angles mesurés.	Calculés.
$l : l' =$	140°35′
$l : M =$	164.15,
$n : n =$	134,
$o :$ o par derrière $=$	122°8′.

Axes.

$$a : b : c = 0{,}9062 : 1 : 1{,}3955.$$

Les faces *o* sont toujours très-étroites, imparfaitement formées et un peu courbes. Ce n'est que fort grossièrement qu'on peut trouver l'angle qu'elles forment entre elles.

D'après l'analogie que semblent présenter les sulfates et les hyposulfites, il était intéressant d'examiner les deux sels de soude qui renferment l'un et l'autre 10 équivalents d'eau et ne diffèrent, d'après M. Persoz, que par le remplacement d'un équivalent d'oxygène par un équivalent de soufre. On voit, par les mesures citées plus haut, que le sulfate et l'hyposulfite de soude cristallisent dans le même système, mais ne sont point isomorphes.

Recherches sur l'indigo;

PAR M. ERDMANN.

M. Erdmann avait publié sur l'indigo, considéré dans ses réactions avec le chlore ou le brome, un Mémoire qui a fixé l'attention des chimistes et qui offrait des résultats en contradiction avec les opinions adoptées par beaucoup de savants français. Sur ces entrefaites, M. Laurent a découvert un corps nouveau résultant de l'oxydation de l'indigo ; cette découverte a donné la clef des observations de M. Erdmann et les a rattachées aux théories admises en

France. Nous regrettons que le savant chimiste allemand ait cru trouver dans le travail de M. Laurent une occasion de se plaindre d'une sorte de plagiat. C'est une grave erreur. M. Laurent était parfaitement libre de s'occuper du sujet qu'il a traité ; il était convenable qu'il le fît dans l'intérêt de la science, et nous ne saurions exprimer trop hautement notre opinion à ce sujet. La dignité des sciences et l'indépendance des savants trouveraient ici des défenseurs, si de telles attaques devaient se renouveler.

Voulant nous borner, pour le moment, à ce qui, dans ces recherches, intéresse les chimistes, nous allons mettre sous les yeux de nos lecteurs le Mémoire où M. Erdmann corrige et rectifie ses anciens résultats, et celui où M. Laurent consigne ses propres observations. (R.)

L'indigo bleu et ses dérivés ont été, comme nous venons de le dire, l'objet d'une étude sérieuse de la part de M. Erdmann. Dans trois Mémoires fort remarquables, ce chimiste habile a consigné de nombreuses observations sur la composition de l'indigo, ainsi que sur les transformations que ce corps éprouve sous l'influence de l'oxygène et du chlore. Les faits qu'ils renferment offrent maintenant un nouvel appui à la théorie des types et des substitutions, et s'enchaînent d'une manière si simple, qu'on peut les considérer comme définitivement fixés.

M. Erdmann avait d'abord pris pour base de ses calculs l'ancien poids atomique du carbone, ce nombre l'avait conduit à des formules erronées ; mais il n'a pas tardé à les rectifier, après s'être assuré lui-même, par des expériences faites concurremment avec M. Marchand, de l'exactitude du nouvel atome proposé par MM. Dumas et Stas.

Nous allons résumer ici ses principales observations.

Composition de l'indigo bleu.

Outre que l'indigo ne s'obtient pas aisément à l'état pur, ce corps a l'inconvénient de se brûler très-difficilement, ce qui explique les divergences qu'on remarque entre les premières analyses de M. Erdmann et celles de M. Dumas. Toutefois, les produits de décomposition de l'indigo ne laissent plus aucun doute sur la formule qu'il convient

d'adopter pour ce corps; aussi M. Erdmann admet-il maintenant la formule

$$C^{32}H^{10}Az^{2}O^{2},$$

établie par M. Dumas.

Une nouvelle analyse lui a donné, pour $0^{gr},586$ de matière, 0,206 eau et 1,590 acide carbonique; ce qui fait, en centièmes,

Carbone.....	73,99
Hydrogène...	3,80

La formule précédente exigerait

Carbone.....	73,18
Hydrogène...	3,80

Il est probable que l'excès de charbon obtenu par l'expérience provient d'une légère impureté.

Isatine.

Une solution concentrée d'acide chromique détruit l'indigo bleu, et surtout par l'emploi de la chaleur, d'une manière instantanée en dégageant beaucoup d'acide carbonique et en séparant de l'oxyde de chrome. D'un autre côté, une dissolution étendue d'acide chromique dissout l'indigo bleu en donnant un liquide brun jaunâtre qui reste limpide par un repos prolongé.

Lorsqu'on chauffe l'indigo avec une dissolution d'acide chromique convenablement étendue, jusque vers son point d'ébullition, et qu'on filtre ensuite le liquide, celui-ci dépose par le refroidissement le corps que M. Laurent a désigné sous le nom d'*isatine*.

La préparation de ce produit intéressant ne réussit pas toujours très-bien. Une condition essentielle pour bien opérer, c'est d'étendre convenablement l'acide chromique. Si ce dernier est trop concentré, on remarque, en chauffant le mélange, un effervescence d'acide carbonique, et alors il ne dépose par le refroidissement que très-peu et même point de cristaux. En évaporant alors la liqueur, on remarque qu'elle se trouble en déposant une poudre brune, composée en grande partie d'oxyde de chrome et d'une espèce d'apothème. La liqueur ne dépose des cristaux d'isatine que par l'évaporation spontanée à l'air ou dans le vide. Il faut faire usage de ce moyen lorsque la liqueur ne

donne pas de cristaux pour avoir été traitée par un acide trop étendu.

On purifie les cristaux obtenus par la cristallisation dans l'eau et dans l'alcool.

L'isatine forme tantôt de gros prismes aurore foncé, tantôt, et surtout par une cristallisation rapide, de petits prismes rouge jaunâtre, qui présentent beaucoup d'éclat lorsqu'ils se sont formés dans une solution alcoolique.

Ce corps est peu soluble dans l'eau froide, plus soluble dans l'eau bouillante. Sa dissolution alcoolique communique à la peau une odeur désagréable fort persistante. Lorsqu'on chauffe l'isatine dans un petit tube fermé, une petite portion se sublime, tandis que la plus grande partie se décompose en laissant un charbon difficile à brûler.

L'isatine renferme

$$C^{32}H^{10}Az^{2}O^{4};$$

on voit que c'est de l'indigo oxydé, de l'indigo qui a pris 2 atomes d'oxygène sans rien perdre.

Une dissolution de potasse dissout l'isatine avec une couleur pourpre foncé. Lorsqu'on ajoute à la solution de l'acide chlorhydrique, il se précipite une poudre cristalline et jaune rougeâtre qui paraît être de l'isatine non altérée. Si l'on chauffe, au contraire, la solution rouge, ou qu'on l'abandonne pendant quelque temps à elle-même, elle se décolore, devient d'un jaune clair, et fournit par l'évaporation un sel cristallin, soluble dans l'alcool bouillant, et cristallisant en petits prismes incolores et transparents. Ce sel de potasse renferme un acide, l'*acide isatique*, qui se représente, à l'état libre, par de l'isatine plus 2 atomes d'eau :

$$C^{32}H^{10}Az^{2}O^{4} + H^{4}O^{2} = C^{32}H^{14}Az^{2}O^{6}.$$

Le sel d'argent de cet acide renferme

$$C^{32}H^{12}Az^{2}O^{5},\ AgO = \begin{matrix} C^{32}H^{12}Az^{2}O^{6} \\ Ag \end{matrix}.$$

L'acide isatique se décompose par la chaleur en isatine et eau ; ce qui prouve que la composition ci-dessus est bien exacte.

Pour isoler l'acide isatique, on traite son sel de plomb par l'hydrogène sulfuré. La solution incolore donne, par

l'évaporation dans le vide, une poudre blanche floconneuse et à peine cristalline, qui se décompose aisément en isatine et eau.

A chaud, l'isatine se dissout complétement dans l'hydrosulfate d'ammoniaque, et la solution dépose, par le refroidissement, une poudre jaunâtre et fort peu cristalline; après les lavages, elle est entièrement exempte de soufre. Par la dessiccation au bain-marie, elle prend une teinte rougeâtre. M. Erdmann lui donne le nom d'*isatyde*, et lui assigne la composition suivante :

$$C^{32}H^{12}Az^2O^3.$$

Cette formule a besoin d'être confirmée par de nouvelles analyses.

Lorsqu'on fait passer de l'hydrogène sulfuré dans une solution alcoolique d'isatine, la liqueur devient peu à peu jaune pâle, et se trouble en même temps en déposant du soufre. Si l'on a employé une solution chaude, le soufre se sépare souvent en cristaux distincts. La liqueur filtrée devient laiteuse par l'eau, et dépose des flocons blanc jaunâtre, qui renferment du soufre en combinaison chimique; M. Erdmann les appelle *sulfisatine*, et les exprime par

$$C^{32}H^{12}Az^2O^2S^3.$$

Cette composition demande à être vérifiée par de nouvelles analyses.

Action du chlore sur l'indigo.

A l'état sec, le chlore et l'indigo ne réagissent pas l'un sur l'autre, ni à une température basse, ni à 100°.

Si, au contraire, on délaye l'indigo bleu dans l'eau, de manière à le réduire en bouillie, et que l'on y fasse passer alors un courant de chlore, la couleur bleue de l'indigo disparaît peu à peu; la masse prend une teinte vert grisâtre, il devient enfin jaune. L'acide chlorhydrique qui se forme en même temps reste dissous dans le liquide presque en totalité. Pendant cette réaction, il ne se dégage ni acide carbonique, ni aucun autre produit gazeux.

Le produit brut qui résulte de l'action du chlore sur l'indigo est un mélange de plusieurs substances. Soumis à la distillation, il donne un liquide aqueux, chargé d'une matière solide et volatile, qui se dépose en plus grande partie

des aiguilles quadrilatères aplaties. Il se dissout facilement dans l'eau et possède une saveur très-amère.

L'acide chlorisatique ne peut pas être isolé, car si l'on ajoute à la solution du sel précédent un acide plus fort, de l'acide chlorhydrique pur, on remarque, au moment où les deux liquides se rencontrent, la formation d'un précipité jaune; mais celui-ci se dissout immédiatement et en même temps la liqueur prend un teinte jaune-orange, se trouble et dépose bientôt de la chlorisatine sous forme de paillettes cristallines. Si l'on chauffe le mélange d'acide chlorhydrique et de chlorisatate de potasse, il acquiert à l'instant même une teinte orange foncé, et donne, par le refroidissement, des cristaux de chlorisatine.

A froid, l'acide acétique n'altère pas la solution du chlorisatate de potasse; mais si l'on chauffe le mélange, il s'en sépare aussitôt de la chlorisatine. Cette réaction fournit le moyen le plus sûr pour obtenir la chlorisatine à l'état libre.

A l'aide du chlorisatate de potasse, on peut obtenir beaucoup d'autres chlorisatates par double décomposition.

La formation du chlorisatate de plomb est accompagnée d'un phénomène fort curieux. Si l'on ajoute de l'acétate ou du nitrate de plomb à une dissolution de chlorisatate de potasse, on obtient un précipité gélatineux et d'un jaune éclatant, lequel, au bout de quelques minutes, et surtout par l'agitation du liquide, devient floconneux et acquiert une couleur écarlate superbe, presque aussi belle que celle du periodure de mercure. Cette transformation est souvent instantanée, souvent aussi la coloration rouge prend naissance en plusieurs points seulement, et se propage peu à peu par toute la masse. Si l'on observe ce phénomène à l'aide du microscope, on remarque que le précipité jaune est pulvérulent, sans aucun indice de cristallisation, et que, à mesure qu'il disparaît, il fait place à des végétations dendritiques rouges qui apparaissent subitement. Quelquefois celles-ci ne se produisent pas, et le précipité se transforme en grains cristallins plus gros, agglomérés et ne présentant que çà et là des indices de faces régulières. Ces changements de nuance ne sont évidemment qu'un simple effet de la cristallisation du sel.

La formation du chlorisatate de cuivre est accompagnée d'un phénomène semblable.

Bichlorisatine.

Cette combinaison est renfermée dans les solutions alcooliques de l'indigo chloré, d'où la chlorisatine a déjà cristallisé. On éloigne l'alcool par distillation, en interrompant de temps à autre l'opération pour enlever les dépôts cristallins formés par le refroidissement; ils se composent d'un mélange de chlorisatine et de bichlorisatine, cette dernière en proportion de plus en plus faible. On continue ainsi jusqu'à ce que les dépôts présentent une composition constante. Dans ce cas ils renferment alors de la bichlorisatine pure. Pour la purifier on la fait recristalliser dans l'alcool faible, ou bien on la transforme en bichlorisatate de potasse, que l'on décompose par un acide.

Ce corps renferme

$$C^{32}H^{6}Az^{2}O^{4}Cl^{4}$$

c'est donc de l'isatine dans laquelle 2 équivalents d'hydrogène ont été remplacés par 2 équivalents de chlore.

La bichlorisatine se présente sous la forme de petites aiguilles couleur aurore, et douées d'un grand éclat. Quelquefois on y reconnaît distinctement des prismes quadrilatères.

Chauffée en vase clos, elle se sublime en partie, tandis que le reste se fond en une masse noire et charbonneuse. Elle est un peu plus soluble dans l'eau que la chlorisatine; elle se dissout bien mieux dans l'alcool que ce dernier corps.

Acide bichlorisatique. — A froid, la bichlorisatine se dissout dans la potasse caustique et lui communique une teinte rouge foncé. Lorsqu'on chauffe le mélange, cette coloration disparaît, la dissolution jaunit, et, par le refroidissement ou l'évaporation, elle se perd en une masse de paillettes jaunes, brillantes, que l'on purifie en les exprimant et les faisant cristalliser de nouveau dans l'alcool.

Ces cristaux constituent le sel de potasse de l'*acide bichlorisatique;* ils renferment

$$C^{32}H^{6}Cl^{4}Az^{2}O^{5}, KO.$$

Si l'on décompose à froid leur solution aqueuse par un acide quelconque, il se précipite de l'acide bichlorisatique à l'état de poudre jaune.

Cet acide est assez soluble dans l'eau; il est plus stable que l'acide chlorisatique, mais, malgré cela, on ne parvient que difficilement à le préparer dans un état de pureté convenable, car il se décompose très-facilement en bichlorisatine et eau, quand on le sèche dans le vide, même à une température basse.

L'acide bichlorisatique libre est donc

$$C^{32}H^{10}Az^2O^6 \\ Cl^4 \quad ,$$

c'est-à-dire de l'acide isatique, dans lequel 2 éq. d'hydrogène ont été remplacés par 2 éq. de chlore.

Les bichlorisatates présentent des propriétés entièrement analogues à celles des chlorisatates.

Chlorindoptène.

On obtient ce corps, comme nous l'avons déjà dit plus haut, en distillant la masse brute obtenue par l'action du chlore sur l'indigo bleu. Il est difficile de se le procurer en assez grande quantité; car, bien qu'il se produise assez abondamment, on ne réussit pas bien à pousser à bout la distillation, à cause des fréquents soubresauts.

Le produit solide que fournit la première distillation est purifié par une nouvelle distillation ou par une sublimation ménagée; on l'obtient ainsi sous forme d'aiguilles ou de feuillets blancs, déliés, très-friables, et d'une odeur desagréable particulière. Seul il ne se volatilise pas aisément, mais il est entraîné avec facilité par les vapeurs de l'eau bouillante.

Il est très-peu soluble dans l'eau froide, se dissout en plus grande quantité dans l'eau bouillante et s'en sépare par le refroidissement en flocons cristallins. L'alcool le dissout très-bien.

M. Erdmann pense que le chlorindoptène est un mélange de deux matières; en effet, si on le met en contact avec de la potasse caustique, l'odeur désagréable qu'elle présentait d'abord, devient à l'instant même assez suave, comme celle du fenouil ou du cerfeuil. Si l'on opère dans une cornue, il se condense dans le récipient une petite quantité d'un corps neutre auquel M. Erdmann donne le nom de *chlorindatmite;* il y a trouvé

Carbone.....	36,89	(ancien poids atom.)
Hydrogène.....	2,23	
Chlore.....	53,28	

la formule $C^{24}H^{6}Cl^{6}O^{2}$ exige :

Carbone.....	36,76
Hydrogène.....	2,00
Chlore.....	53,22

Le sel de potasse qui reste comme résidu dans la cornue, se prend par le refroidissement en une bouillie composée d'aiguilles incolores, déliées et transparentes. La solution de ces cristaux est précipitée sous forme de flocons blancs qui ressemblent au chlorindoptène, mais dont l'odeur est moins désagréable ; ils rougissent fortement le tournesol. M. Erdmann leur donne le nom d'*acide chlorindoptique*.

Le chlorindoptate de potasse donne avec le nitrate d'argent un précipité jaune-citron très-volumineux, fort peu soluble dans l'eau bouillante et entièrement insoluble dans l'eau froide ; dans l'acétate de plomb il occasionne un précipité blanc, dans le sulfate de cuivre, un précipité pourpre violacé.

L'analyse a donné, pour le sel d'argent, la formule

$$C^{24}H^{4}Cl^{6}, AgO.$$

L'acide chlorindoptique, séparé du sel de potasse par l'acide sulfurique ou chlorhydrique, et séché dans le vide, a présenté la composition suivante :

$$C^{24}H^{4}Cl^{6}, H^{2}O.$$

L'analyse avait donné

Carbone.....	38,02	37,46 (ancien poids)
Hydrogène...	1,77	1,70
Chlore.....	54,53	

Le calcul exigerait

Carbone.....	38,48
Hydrogène...	1,57
Chlore.....	55,73

Nous ferons observer que les résultats de M. Erdmann pourraient bien s'exprimer par

$$C^{24}H^{4}Cl^{6}O, H^{2}O,$$

ce qui ferait de son acide un corps identique à l'acide chloro-phénésique de M. Laurent.

Action du brome sur l'indigo.

Les produits qui naissent de l'indigo bleu sous l'influence du brome sont tout à fait identiques avec ceux que l'on obtient par l'action du chlore. Si l'on distille la masse blanche qui se forme lorsqu'on traite par du brome de l'indigo humide, il se produit du *bromindoptène*.

La *bromisatine* renferme

$$C^{32}\,H^{8}\,Az^{2}\,O^{4}\,Br^{2}\,;$$

la *bibromisatine* contient de même

$$C^{32}\,H^{6}\,Az^{2}\,O^{4}\,Br^{4}$$

Ces deux corps sont dérivés du type isatine, comme les corps chlorés correspondants que nous avons décrits plus haut.

La potasse transforme ces deux corps en deux acides particuliers, l'*acide bromisatique* et l'*acide bibromisatique*.

Le bibromisatate de potasse s'obtient facilement à l'état cristallisé; il constitue des aiguilles jaune-paille, brillantes et moins solubles dans l'eau et l'alcool que le bichlorisatate de potasse. A l'état sec ces cristaux renferment

$$C^{32}H^{8}Br^{4}Az^{2}O^{5},\ KO.$$

L'acide bibromisatique se décompose aisément en bibromisatine et en eau.

Les réactions du bibromisatate de potasse sont entièrement identiques avec celles du bichlorisatate à même base.

Action de l'hydrogène sulfuré et de l'hydrosulfate d'ammoniaque sur la chlorisatine, la bichlorisatine et la bibromisatine.

Lorsqu'on fait passer un courant d'hydrogène sulfuré à travers une solution de chlorisatine, de bichlorisatine ou

des combinaisons bromées correspondantes, le liquide se décolore en même temps qu'il se forme un dépôt blanc, composé d'un mélange de soufre et d'une combinaison nouvelle qui renferme les éléments de la chlorisatine ou de la bichlorisatine plus 2 atomes d'hydrogène.

L'hydrosulfate d'ammoniaque donne naissance aux mêmes produits.

Voici comment ces derniers se forment :

par la chlorisatine :

$$\frac{C^{32}\,H^{8}\,Az^{2}\,O^{4}}{Cl^{2}} + H^{2}S = \frac{C^{32}\,H^{10}\,Az^{2}\,O^{4}}{Cl^{2}} + S;$$

par la bichlorisatine :

$$\frac{C^{32}\,H^{6}\,Az^{2}\,O^{4}}{Cl^{4}} + H^{2}S = \frac{C^{32}\,H^{8}\,Az^{2}\,O^{4}}{Cl^{4}} + S;$$

pat la bibromisatine :

$$\frac{C^{32}\,H^{6}\,Az^{2}\,O^{4}}{Br^{4}} + H^{2}S = \frac{C^{32}\,H^{8}\,Az^{2}\,O^{4}}{Br^{4}} + S.$$

L'auteur donne à ces corps les noms de *chlorysatide*, de *bibromisatyde*, etc., pour indiquer qu'ils dérivent de la chlorisatine, de la bibromisatine, etc. On voit qu'ils présentent le même rapport avec ces dernières combinaisons que celui qui existe entre l'alloxane et l'alloxantine, la benzoïne et le benzoïle, etc.

Ces nouveaux corps sont fort peu solubles dans l'eau; l'alcool bouillant les dissout aisément, et les dépose, par le refroidissement, en croûtes cristallines blanches, sans apparence régulière.

Action de la chaleur sur le chlorisatyde et le bichlorisatyde.

Sous l'influence d'une température de 200° environ, les combinaisons dont on vient de parler dégagent de l'eau et laissent un résidu violet brunâtre; en même temps il se sublime une certaine quantité de chlorisatine ou de bichlorisatine, suivant la matière première qu'on a employée.

Le résidu se compose d'un corps particulier auquel l'auteur donne le nom de *chlorindine*. Il a pour formule

$$C^{32}H^{10}Az^{2}Cl^{2}O^{2}.$$

Le bichlorisatyde et le bibromisatyde donnent pareillement de la *bichlorindine* et de la *bibromindine*.

La chlorindine se présente à l'état d'une poudre violet pâle, insoluble dans l'eau, l'alcool et l'acide chlorhydrique, soluble au contraire, avec une couleur jaunâtre, dans la potasse caustique. La solution alcaline décomposée par l'acide chlorhydrique donne un précipité jaune qui se dissout dans l'eau bouillante avec une couleur jaunâtre.

Action de la potasse sur le chlorisatyde et le bichlorisatyde.

Les expériences de M. Erdmann ne rendent pas compte, d'une manière satisfaisante, de ce qui se passe dans l'action de la potasse sur le chlorisatyde et le bichlorisatyde. L'auteur a obtenu, dans ces circonstances, un corps violet qu'il présume être de la chlorindine, de l'acide chlorisatique et un acide isomère de ce dernier, l'*acide chlorisatydique*.

Ce nouvel acide, bien qu'ayant la même composition que l'acide chlorisatique, donne, avec les bases, des sels qui, par leurs propriétés physiques, diffèrent sensiblement des chlorisatates.

L'auteur a également examiné l'action que l'ammoniaque, l'acide nitrique et le monosulfure de potassium exercent sur la chlorisatine et la bichlorisatine, mais ses recherches à cet égard ne présentent point de données analytiques.

Action prolongée du chlore sur la chlorisatine et la bichlorisatine.

Ni la chlorisatine, ni la bichlorisatine ne paraissent s'altérer lorsqu'on les délaye dans l'eau et qu'on y fait passer un courant de chlore pendant plusieurs heures; l'auteur a vainement tenté de transformer ainsi la chlorisatine en bichlorisatine. La lumière solaire directe ne paraît pas non plus exercer d'action sensible.

Si l'on dissout au contraire dans l'alcool la chlorisatine ou la bichlorisatine, et qu'on fasse arriver un courant de chlore dans cette solution, il s'effectue bientôt une décomposition. Les produits sont les mêmes, qu'on emploie la chlorisatine ou la bichlorisatine, ou l'une et l'autre mélangées. Outre les produits chlorés de la décomposition de l'alcool, il se forme dans ces circonstances trois corps particuliers :

le *chloranile*, le *chlorindoptène chloré* et une *matière résineuse*. Cette dernière paraît être le produit principal de la réaction.

Chlorindoptène chloré. — On obtient ce corps en soumettant à la distillation le produit résineux provenant de l'action du chlore sur la chlorisatine et d'où l'on a préalablement extrait le chloranile au moyen de l'alcool froid.

Il se sublime dans le col de la cornue à l'état d'aiguilles blanches.

Les cristaux se dissolvent dans la potasse et donnent ainsi naissance, en fixant 1 atome d'eau, à un nouvel acide qui présente tous les caractères physiques de l'acide chlorindoptique, mais dans lequel 4 atomes d'hydrogène se trouvent remplacés par 4 atomes de chlore, comme l'indiquent les formules suivantes :

Acide chlorindoptique.	*Idem chloré.*
$C^{24}H^{4}Cl^{6}, H^{2}O.$	$C^{24}Cl^{10}, H^{2}O.$
Sel d'argent.	*Idem chloré.*
$C^{24}H^{4}Cl^{6}, AgO.$	$C^{24}Cl^{10}, AgO.$

Les sels de ce nouvel acide donnent, avec les solutions métalliques, absolument les mêmes réactions que les chlorindoptates.

Chloranile. — Ce corps s'extrait, à l'aide de l'alcool froid, du produit de l'action du chlore sur la chlorisatine. Il se dépose quelquefois, à l'état de paillettes brillantes, dans la solution alcoolique où l'on fait arriver le chlore.

Il a pour composition

$$C^{12}Cl^{4}O^{2}.$$

Il est insoluble dans l'eau et ne se dissout que fort peu dans l'alcool froid. Dans l'alcool bouillant il se dissout avec une couleur jaune pâle et cristallise, par le refroidissement dissolvant, en paillettes éclatantes qui ressemblent beaucoup à l'iodure de plomb. La solution est neutre au papier. Les acides sont sans action sur lui, même à la température de l'ébullition. Les alcalis se transforment en *acide chloranilique*.

Il ne renferme point d'hydrogène. A chaud, le chloranile se dissout aisément dans la potasse diluée en donnant un liquide pourpre. Cette dissolution dépose, par le refroidisse-

ment, des prismes pourpre brunâtre qui ont pour formule

$$C^{12}H^{3}Cl^{2}O^{4}.$$

C'est l'acide chloranilique.

Ce nouvel acide se forme donc du chloranile de la même manière que l'acide benzoïque dérive du chlorure de benzoïle

$$C^{12}Cl^{4}O^{2} + H^{4}O^{2} = C^{12}H^{3}Cl^{2}O^{4} + H^{3}Cl^{2}.$$

Le chloranilate d'argent a pour formule

$$C^{12}Cl^{2}O^{3}, AgO.$$

Celui à base de potasse se représente par

$$C^{12}Cl^{2}O^{3}, KO + Aq.$$

L'acide chloranilique se décompose en partie lorsqu'on le chauffe dans un tube; une autre partie se sublime.

Action de l'ammoniaque sur la chloranile.

Si l'on chauffe du chloranile avec de l'ammoniaque aqueuse, il s'y dissout lentement, sans effervescence, en donnant un liquide rouge de sang foncé, qui donne par le refroidissement de petites aiguilles aplaties, couleur châtain, et assez brillantes. Les cristaux constituent le *chloranil-ammon*

$$C^{12}Cl^{2}H^{6}Az^{2}O^{3},$$

que l'on peut représenter comme une combinaison d'acide chloranilique anhydrique et d'ammoniaque anhydre :

$$C^{12}Cl^{2}O^{3} + Az^{2}H^{6}.$$

Ce corps est analogue au sulfate d'ammoniaque anhydre de M. Rose. Les alcalis se décomposent lentement en chloranilate de potasse qui se sépare à l'état cristallisé, et en ammoniaque qui devient libre.

Le chloranil-ammon se dissout dans l'eau avec une couleur pourpre. Les acides n'occasionnent pas de précipité dans sa solution étendue et froide; ils n'en altèrent pas non plus la couleur, ce qui distingue essentiellement ce corps du chloranilate de potasse.

La solution du chloranil-ammon donne, avec plusieurs sels métalliques, des précipités qui ressemblent à ceux que produit le chloranilate de potasse, mais qui en diffèrent néanmoins notablement.

Les acides concentrés attaquent le chloranil-ammon, et

produisent un nouveau corps, cristallisé en aiguilles noires qui renferment moins d'azote et d'hydrogène que le chloranil-ammon. Leur composition se représente par

$$C^{24}Cl^{4}H^{6}Az^{2}O^{6}.$$

Pour leur donner naissance, 2 at. de chloranil-ammon,

$$C^{24}Cl^{4}H^{12}Az^{4}O^{6},$$

cèdent aux acides 1 équivalent d'ammoniaque $Az^{2}H^{6}$.

Ce nouveau corps, que l'auteur désigne sous le nom de *chloranilam*, et dont la formule rationnelle serait

$$2C^{12}Cl^{2}O^{3} + Az^{2}H^{6},$$

se comporte avec les alcalis à peu près comme le choranil-ammon. Il n'en est décomposé que lentement et se transforme alors en chloranilate alcalin.

Avec les solutions métalliques, il donne également des précipités qui sont identiques avec ceux qu'occasionne le chloranil-ammon.

Recherches sur l'indigo ;

AR M. AUG. LAURENT.

La formule de l'indigo, telle qu'elle a été donnée par M. Dumas il y a trois ou quatre ans, ne pouvait plus s'accorder avec l'analyse, en employant le nouveau poids atomique du carbone. Mais si son analyse était bien faite avec l'ancien procédé, on devait retrouver la même formule avec le nouveau.

M. Erdmann ayant employé ce dernier, a néanmoins trouvé plus de carbone que la formule $C^{32}H^{10}Az^{2}O^{2}$ n'en admet. J'ai supposé que l'excès de carbone provenait de l'impureté de l'indigo employé. J'ai donc fait tous mes efforts pour me procurer ce corps dans un état de pureté absolu. Pour cela, j'ai d'abord traité de l'indigo de première qualité par le procédé indiqué par M. Berzélius, à l'aide de la réduction, de la précipitation, etc.; j'ai ensuite distillé dans le vide l'indigo purifié. J'ai opéré dans une cornue

de la grosseur d'un œuf. La dimension n'est pas indifférente pour la réussite de l'opération. J'ai obtenu de magnifiques cristaux dans le haut de la cornue; j'ai coupé celle-ci par le milieu, et j'ai enlevé avec soin les cristaux supérieurs. Ceux du bas étaient mêlés avec un peu de charbon.

L'indigo, ainsi préparé, n'est pas absolument pur; il est souillé par des traces de matières huileuses et résineuses, que l'on enlève facilement à l'aide de l'éther.

Les cristaux que j'ai analysés ont été préalablement examinés avec soin à la loupe, et triés avec une pince; on a laissé de côté les microscopiques. Leur forme est celle d'un prisme à six pans dont les bases sont remplacées par deux faces qui paraissent se couper sous un angle obtus. Les cristaux dérivent d'un prisme à base rhombe dont les angles sont de 32 et 148°; dans quelques cristaux j'ai trouvé des facettes qui conduisaient à un rhombe de 90° environ.

I. 0,400 ont donné
1,075 d'acide carbonique,
0,140 d'eau;

II. 0,400 ont donné
1,073 d'acide carbonique,
0,141 d'eau.

Je n'ai pas dosé l'azote.

Ces nombres conduisent à la formule de M. Dumas.

		Calculé.	TROUVÉ. I.	TROUVÉ. II.
C^{32}...	1200,0	73,2	73,30	73,16
H^{10}...	62,5	3,8	3,88	3,91
Az^2...	177,0	10,8		
O^2 ...	200,0	12,2		
	1639,5	100,0		

Isatine.

Ce corps peut se préparer, soit avec l'acide nitrique, soit avec l'acide chromique. Je me suis servi de ce dernier acide préparé par la méthode de Fritsche. On le dissout dans un peu d'eau et on le verse peu à peu sur de l'indigo pulvérisé; on chauffe et l'on cesse d'ajouter l'acide chro-

nique aussitôt que la couleur bleue est détruite. Pour extraire l'isatine formée, on emploie la méthode que je vais décrire pour préparer ce composé à l'aide de l'acide nitrique.

On réduit en poudre 1 kilogramme d'indigo du commerce, de bonne qualité; on le met dans une grande capsule de porcelaine avec assez d'eau pour obtenir une bouillie très-liquide. La capsule étant placée sur un feu modéré, on y verse peu à peu de l'acide nitrique ordinaire, en agitant de temps en temps la bouillie. Il se produit une assez vive effervescence qui n'est cependant presque pas accompagnée de vapeurs nitreuses.

On continue d'ajouter l'acide et de faire bouillir le tout, jusqu'à ce que la couleur bleue ait disparu. Il faut environ 6 à 700 grammes d'acide nitrique pour détruire complétement l'indigo. La liqueur est colorée en jaune, et l'isatine est mêlée avec une grande quantité d'une matière brune soluble dans les alcalis. On verse plusieurs litres d'eau dans la capsule et l'on porte le tout à l'ébullition. L'isatine est assez soluble dans l'eau chaude, mais très-peu dans l'eau froide; il faut donc filtrer la liqueur bouillante et sur du papier qui lui permette de passer rapidement. Au bout de douze heures, l'isatine se dépose sous la forme de petits cristaux mamelonnés rougeâtres. On verse l'eau-mère sur le résidu, on fait de nouveau bouillir, on filtre, et l'on recommence deux ou trois fois cette opération. L'eau-mère concentrée donne encore un peu d'isatine. Pour purifier celle-ci, on la jette sur un entonnoir au fond duquel se trouvent quelques fragments de verre, puis on l'arrose avec de l'eau dans laquelle on a versé un peu d'ammoniaque. Cette dissolution passe rapidement en enlevant une matière brune résineuse. Il ne faudrait pas y verser de l'ammoniaque concentrée, puis la laver avec de l'eau, car cet alcali décompose l'isatine. On lave une dernière fois avec de l'eau pure.

On dissout ensuite l'isatine dans l'alcool bouillant et on la fait, par ce moyen, cristalliser à plusieurs reprises; j'en ai obtenu 180 grammes avec 1 kilogramme d'indigo.

L'isatine, ainsi préparée, se présente sous la forme de beaux prismes brillants, transparents, colorés en rouge-brun. Sa poussière est jaune-orange. Si on la dissout dans la potasse mêlée avec de l'eau et un peu d'alcool, et si on

la précipite ensuite à chaud par l'acide chlorhydrique, on obtient, par le refroidissement, des aiguilles d'un beau rouge-orange. Leur forme est celle d'un prisme droit à base hexagonale, dérivant d'un prisme à base rhombe dont les angles sont de 133° environ. Les bases sont remplacées par un biseau ou par une pyramide dont je n'ai pu mesurer les angles.

Elle est inodore, inaltérable à l'air; elle est fusible et répand des vapeurs jaunes, extrêmement irritantes; par le refroidissement elle cristallise en une masse aciculaire.

Chauffée sur une feuille de platine, elle se volatilise en grande partie sans se décomposer; mais distillée dans un tube, elle laisse un très-grand résidu de charbon. Jetée sur un charbon ardent, elle répand la même odeur que l'indigo manifeste dans cette circonstance.

Elle est un peu soluble dans l'eau froide, plus soluble dans l'eau bouillante, qu'elle colore en rouge-brun.

L'alcool bouillant la dissout très-bien; l'éther moins facilement. Si après l'avoir délayée dans de l'eau on y fait passer un courant de chlore, on obtient un produit en apparence semblable à l'isatine; mais, en l'examinant de plus près, j'ai reconnu que c'était un nouveau corps que M. Erdmann a découvert de son côté en faisant agir le chlore sur l'indigo bleu.

Le brome sec, versé sur l'isatine sèche, produit une vive effervescence. Lorsque celle-ci a cessé, l'isatine se trouve complétement changée en un produit également découvert par M. Erdmann et qu'il a nommé *bibromisatine*; mais il l'a obtenu en faisant réagir le brome sur l'indigo.

L'iode paraît être sans action, mais je n'ai pas assez examiné ce sujet.

L'acide nitrique concentré la dissout en très-grande quantité; à l'aide d'une douce chaleur, il se colore en rouge-brun, et par le refroidissement il la laisse cristalliser. Mais si on le porte à l'ébullition, il s'établit au bout d'une minute une réaction très-vive, des vapeurs rouges se dégagent; en évaporant et reprenant par l'eau, il reste une matière brun-rouge, épaisse, résinoïde, soluble dans l'ammoniaque et qui brûle à la manière des composés organiques qui renferment de l'acide hypoazotique. La solution aqueuse, évaporée de nouveau, donne des cristaux d'acide oxalique; il ne se forme pas d'acide picrique.

L'acide sulfurique de Nordhausen la dissout en se colorant en brun-rouge par la chaleur; il la décompose rapidement. Si l'on arrête l'opération aussitôt que le boursoufflement commence, on obtient, par le traitement par l'eau et par l'alcool, une matière jaune que je n'ai pas examinée.

L'isatine se dissout dans la potasse, cependant elle n'est pas un acide; sa dissolution aqueuse ou alcoolique ne rougit pas la teinture de tournesol.

L'ammoniaque, l'hydrogène sulfuré, l'hydrosulfate d'ammoniaque donnent naissance à divers produits que je ferai connaître plus loin.

Soumise à l'analyse, l'isatine m'a donné sur

I. 0,400,
0,953 d'acide carbonique,
0,130 d'eau;

II. 0,400,
0,956 d'acide carbonique,
0,127 d'eau;

III. 0,400,
0,956 d'acide carbonique,
0,126 d'eau;

IV. 0,400 ont donné $32^{c.c.},5$ d'azote à 0,751 et 14°, ce qui fait $30^{c.c.}$ à 0,760 et à 0°.

Ces nombres s'accordent avec la composition suivante

		Calculé.	TROUVÉ. I.	II.	III.
C^{33}.....	1200,0	65,5	65,0	65,2	65,2
H^{10}.....	62,5	3,4	3,6	3,5	3,5
Az^3.....	177,0	9,6	9,5	9,5	9,5
O^4.....	400,0	21,5	21,9	21,8	21,8
	1839,5	100,0	100,0	100,0	100,0

Cette composition représente celle de l'indigo plus 2 atomes d'oxygène.

J'avais supposé autrefois que, lorsqu'un corps absorbe de l'oxygène sans perdre son équivalent en hydrogène, le nouveau produit devait être acide, à moins que l'oxygène absorbé ne fût en partie à l'état d'eau. L'isatine étant neutre, si mon hypothèse était juste, sa formule devrait pouvoir se représenter par

$$C^{33}H^5O^3Az^3 + H^2O;$$

mais, comme on va le voir, l'isatine ne renferme pas d'eau.

Acide isatinique.

Lorsque l'on verse une dissolution concentrée de potasse sur de l'isatine, celle-ci se dissout à froid en donnant une liqueur rouge violacé très-foncée. En étendant d'eau et faisant bouillir, la couleur devient jaune pâle. En évaporant cette dissolution, on obtient un sel cristallisé, légèrement coloré en jaune. Si l'on verse de l'acide chlorhydrique dans une solution aqueuse ou alcoolique, il ne se forme pas de précipité dans le premier moment; par le repos il se dépose des cristaux d'isatine. En me basant sur les poids atomiques de l'acide chlorisatinique et bromisatinique donnés par M. Erdmann, l'isatinate de potasse aurait dû se représenter par de l'isatine, plus de la potasse sans eau. Mais les analyses des sels de barium et d'argent m'ont donné pour l'atome de l'acide isatinique un poids beaucoup plus fort.

Isatinate de barium.

J'ai préparé ce sel en faisant bouillir de l'isatine avec du lait de baryte. La réaction n'est pas aussi rapide qu'avec la potasse. Par l'évaporation il se dépose des paillettes d'un sel très-peu soluble, qui ne paraît pas se dissoudre en plus grande quantité dans l'eau chaude que dans la froide. L'alcool en dissout à peine.

0,595 de ce sel séché à 140 ou 150° ont donné par l'acide sulfurique 0,300 de sulfate de barium renfermant 0,1968 de base; l'acide pesait donc 0,3982.

1968 : 3982 :: BaO ou 956 : 1949.

L'isatine.....	=	1839,0
H^2O.....	=	112,5
		1951,5

nombre très-rapproché de celui qui a été trouvé par l'expérience.

L'isatine sous l'influence des bases absorbe donc 1 atome d'eau pour former l'acide isatinique des sels

$C^{32}H^{13}Az^2O^8$.

Isatinate d'argent.

Ce sel est soluble dans l'eau et cristallisé en beaux prismes jaunes. Pour le préparer, on mêle deux dissolutions bouillantes et assez concentrées de nitrate d'argent et d'isatinate de potasse. Par le refroidissement le sel argentique cristallise.

I. 0,500 de sel cristallisé perdent 0,014 à 140°;
II. 0,500 de sel cristallisé ont donné 0,192 d'argent,
III. 0,500 de sel cristallisé ont donné 0,192 d'argent;
IV. 0,470 de sel séché à 150° ont donné
0,607 d'acide carbonique;
0,100 d'eau.

Ces nombres conduisent à la formule suivante pour le sel cristallisé

$$C^{32}H^{12}Az^{2}O^{5} + AgO + H^{2}O.$$

		Calculé.	Trouvé.
Acide isatique.	1951	58,38	58,80
O.....	100		
Ag.....	1351	38,44	38,40
$H^{2}O$.....	112	3,18	2,80
	3514	100,00	100,00

et l'on a pour le sel anhydre :

		Calculé.	Trouvé.
C^{32}.....	1200	35,25	35,22
H^{12}.....	75	2,21	2,48
Az^{2}.....	177	5,20	
O^{5}.....	500	14,69	
AgO.....	1451	42,65	
	3403	100,00	

L'isatinate de potasse donne, avec le *chlorure de barium*, un précipité qui ne se forme pas si les sels sont étendus.

Le chlorure de strontium, calcium, magnésium, de cobalt, nickel, zinc, cadmium, mercure, alun, ne donnent pas de précipités.

Nitrate d'urane. Précipité orange vif qui devient rouge-écarlate en quelques minutes. Le nitrate était un peu acide; le précipité jaune serait peut-être de l'isatinate qui passe-

rait au rouge par la formation d'un peu d'isatine sous l'influence de l'acide nitrique libre?

Chlorure ferrique. Précipité brun.

Nitrate mercureux. Précipité jaune.

Acétate de plomb. Précipité jaune floconneux, passant peu à peu au rouge. Si les sels sont étendus, il n'y a rien.

Nitrate d'argent. Précipité jaune; étendu, il ne s'en forme pas.

Chlorisatinase.

Je donne ce nom au composé qui a été nommé par M. Erdmann chlorisatine. C'est en traitant l'indigo par le chlore qu'il l'a obtenu. Je l'ai préparé de la manière suivante. De l'isatine pulvérisée fut introduite avec de l'eau dans un ballon ; puis on y fit passer un courant de chlore pendant que le liquide était légèrement chauffé. La couleur de l'isatine changea très-peu, elle devint plus orangée. Pour purifier le produit obtenu on le fit dissoudre dans l'alcool bouillant; par le refroidissement on obtint de jolis prismes lamelleux, très-éclatants. Ils appartiennent au système prismatique droit à base rectangulaire ; les arêtes verticales sont tronquées et donnent un prisme à six pans. L'inclinaison des facettes de troncature sur les pans du prisme rectangulaire est de 114° environ. Je n'ai pu mesurer l'inclinaison des deux faces qui remplissent la base.

D'après les mesures de M. Rose, les pans seraient inclinés entre eux de 114°30′ et les deux facettes de la base de 134°12′.

Dans l'isatine, d'après mes mesures, l'angle que font les pans entre eux est de 113°30′. M. Rose l'a trouvé égal à 113°20′.

L'angle des facettes qui remplacent la base n'a pas pu être mesuré exactement par M. Rose.

L'isatine et le chlorisatinase sont donc isomorphes ; c'est un nouvel exemple à l'appui des idées que j'ai émises, il y a quatre ans, sur la forme cristalline des corps par substitution.

Je renvoie au Mémoire de M. Erdmann pour les propriétés du chlorisatinase.

I. 0,400 de cette matière m'ont donné
0,783 d'acide carbonique,
0,084 d'eau;

II. 0,400
0,778 d'acide carbonique,
0,084 d'eau;
III. 0,400
0,780 d'acide carbonique,
0,086 d'eau ;
IV. 0,400 ont donné par la chaux et le nitrate d'argent un précipité de chlorure pesant 0,310 ;
V. 0,300 ont donné $18^{c.c.},7$ d'azote à $0^{m},76$ et à 0°.

D'après cela, le chlorisatinase contient

		Calculé.	TROUVÉ. I.	II.	III.
C^{32}...	1200	52,88	53,38	53,05	53,17
H^{8} ...	50	2,25	2,33	2,33	2,38
Az^{2}...	177	7,79	7,80		
Cl^{2}...	442	19,47	19,10		
O^{4}....	400	17,61	17,39		
	2269	100,00	100,00		

C'est de l'isatine dont 2 atomes d'hydrogène ont été remplacés par 2 atomes de chlore. D'après l'analyse de M. Erdmann, sa formule devrait être $C^{32}H^{8}Az^{2}O^{3}Cl^{2}$.

Il est facile de voir ce qui se passe, lorsque l'on traite l'indigo par le chlore, sous l'influence de l'eau. On peut supposer que 2 équivalents de celle-ci sont d'abord décomposés; l'oxygène de l'eau se porte sur l'indigo et forme de l'isatine, puis celle-ci se transforme ensuite en chlorisatinase

$$C^{32}H^{10}Az^{2}O^{2} + H^{4}O^{2} + Cl^{6} = C^{32}H^{8}Cl^{2}Az^{2}O^{4} + Cl^{6}H^{6}.$$

J'ai voulu voir si en faisant passer du chlore sur l'indigo, l'on n'obtiendrait pas d'abord de l'isatine. J'ai arrêté le courant du gaz lorsqu'il restait encore un peu d'indigo bleu non décomposé. L'isatine étant beaucoup plus soluble dans l'alcool que le chlorisatinase, j'ai cherché, par des cristallisations successives dans ce liquide, à obtenir l'isatine: je n'ai pas réussi, mais je ne puis affirmer qu'il n'y en avait pas. Il faudrait probablement mettre beaucoup d'eau avec l'indigo, faire passer à froid et lentement le courant de chlore et s'arrêter lorsque la moitié de l'indigo serait détruite.

Acide chlorisatinasique.

Le chlorisatinase dissous dans la potasse absorbe, comme l'isatine, 1 atome d'eau pour former l'acide isatinique. Le sel d'argent, obtenu par double décomposition, fortement séché, a été traité par l'acide chlorhydrique : il s'est formé du chlorure d'argent et du chlorisatinase; on a enlevé celui-ci à l'aide de l'alcool.

0,500 de sel argentique ont donné 0,232 de chlorure, correspondant à 0,1877 d'oxyde; il renfermait donc sur 100 parties

		Calculé.	Trouvé.
Chlorisatinase..	2269	59,47	
H^2O.....	112	2,67	
AgO.....	1451	37,86	37,5
	3832	100,00	

D'après la formule de l'acide chlorisatinasique de M. Erdmann, on aurait dû obtenir un centième d'oxyde d'argent de plus. Lorsque je reçus son Mémoire, je m'empressai de déterminer de nouveau ce poids atomique. Le sel employé était assez bien cristallisé.

0,500 m'ont donné sensiblement le même poids de chlorure, c'est-à-dire 0,232.

Les chlorisatinasates ressemblent entièrement aux isatinates et ils se comportent comme eux avec les réactifs.

Chlorisatinèse.

Sous ce nom je désigne la bichlorisatine de M. Erdmann. J'ai préparé ce composé par sa méthode, en faisant passer directement du chlore sur l'indigo purifié. Mes analyses font voir que je ne suis pas parvenu à séparer entièrement la chlorisatinase du chlorisatinèse, car elles donnent environ 1 centième de carbone de trop. Mais ces analyses seront confirmées par celles du bromisatinèse que j'ai pu facilement obtenir très-pur. Ce qu'il y avait de plus important pour moi, c'était de déterminer exactement la quantité d'hydrogène, car M. Erdmann avait trouvé que ce composé renferme autant d'atomes d'hydrogène que le chlorisatinase. Or l'analogie qui existe entre ces deux corps est

tellement grande, que je ne pus croire qu'ils n'avaient pas la même constitution.

I. 0,400 m'ont donné
0,668 d'acide carbonique,
0,055 d'eau;
II. 0,800,
1,340 d'acide carbonique,
0,114 d'eau,

Ce qui fait pour cent parties

		Calculé.	TROUVÉ. I.	TROUVÉ. II.
C^{32}....	1200,0	44,47	45,50	45,68
H^{6}.....	37,5	1,40	1,52	1,58
Az^{2}....	177,0	6,56		
Cl^{4}.....	884,0	32,76		
O^{4}.....	400,0	14,82		
	2698,5	200,00		

D'après M. Erdmann, la formule de ce corps serait $C^{32} H^{8} Az^{2} Cl^{4} O^{3}$; celle que je donne explique simplement sa formation. C'est de l'isatine dont 4 atomes d'hydrogène ont été remplacés par 4 atomes de chlore.

Je n'ai pas cherché à déterminer le poids atomique de l'acide chlorisatinésique, parce que l'impureté de mon produit ne m'aurait pas permis de décider la question principale.

Bromisatinèse.

J'ai préparé ce composé en versant du brome sur l'isatine, tant qu'il s'est dégagé des vapeurs d'acide bromhydrique; le produit obtenu fut purifié à l'aide de l'alcool bouillant. Le résidu était d'un beau jaune-orangé et bien pur. Cependant, pour faire l'analyse, j'en ai fait cristalliser une portion dans l'alcool bouillant. Les cristaux ainsi obtenus appartiennent au même système cristallin que l'isatine: ce sont des prismes droits à base rectangulaire très-nets, mais qui, malheureusement, n'offrent aucune modification.

I. 0,500 de matière non cristallisée ont donné
0,586 d'acide carbonique,
0,053 d'eau;

II. 0,400 de matière cristallisée,
0,464 d'acide carbonique,
0,043 d'eau;
III. 0,400 de matière cristallisée,
0,463 d'acide carbonique,
0,041 d'eau.

Ces nombres conduisent à la formule suivante :

		Calculé.	TROUVÉ. I.	II.	III.
C^{32}.....	1200	31,83	31,97	31,64	31,57
H^{8}.....	37,5	1,00	1,17	1,19	1,13
Az^{2}.....	177,0	4,69			
Br^{4}.....	1956,0	51,88			
O^{4}.....	400,0	10,60			
	3770,5	100,00			

Si le bromisatinèse renfermait 8 atomes de chlore, la quantité d'hydrogène devrait être de 1,32; j'en ai toujours trouvé moins. Le poids atomique du chlorisatinèse étant moins élevé, on peut plus facilement déterminer la quantité d'hydrogène. D'après ma formule, il doit en renfermer 1,4; j'ai trouvé 1,52 et 1,58. S'il contenait 8 atomes d'hydrogène, on aurait dû trouver 1,85.

Le bromisatinèse ressemble tellement à l'isatine et au chlorisatinase, que je n'ai pas cru qu'il fût nécessaire de déterminer le poids atomique de l'acide bromisatinésique, dont la formule doit être

$$C^{32}\,H^{8}\,Az^{2}\,Br^{4}\,O^{5}.$$

Isathyde.

Je donne ce nom à un composé que j'ai découvert en faisant dissoudre à chaud de l'isatine dans l'alcool, et en y versant un peu de sulfhydrate d'ammoniaque. J'ai abandonné le mélange à lui-même dans un flacon bouché. Au bout de quelques minutes, on voit déjà apparaître des paillettes blanches microscopiques, dont la quantité augmente pendant plusieurs jours. Au bout de huit jours, le dépôt blanc grisâtre fut jeté sur un filtre et lavé à l'alcool. Examiné au microscope, il présenta deux espèces de cristaux, les uns lamellaires, prismatiques, les autres octaédri-

ıes; ceux-ci étaient du soufre qui fut séparé à l'aide du ılfure de carbone.

L'isathyde est blanche, légèrement grisâtre, sans odeur, ns saveur; elle ne paraît pas être soluble dans l'eau. 'alcool et l'éther n'en dissolvent par l'ébullition qu'une ès-petite quantité : par le refroidissement, ils l'aban- ɔnnent sous la forme de paillettes microscopiques qui nt des prismes obliques à base rectangulaire. Chauffée à ıelques degrés au-dessous de son point de ramollissement, le devient brun-violet; si l'on pousse la température jus- ı'à ce qu'elle soit à moitié fondue, elle se décompose, et ɔn obtient un corps soluble dans l'alcool qui donne des ıistaux brun-rouge par l'évaporation. Ces cristaux sont lubles dans la potasse, d'où ils sont précipités à l'état ɔconneux par les acides.

Traitée par la potasse, elle subit diverses tranformations ır lesquelles je reviendrai plus loin.

L'acide nitrique bouillant la décompose: il se forme abord une poudre violette; par une ébullition prolon- ıe cette poudre se dissout, et en étendant l'acide avec de ıau, il se précipite une matière jaune floconneuse.

Soumise à l'analyse, elle m'a donné sur

I. 0,400
0,960 d'acide carbonique,
0,147 d'eau;
I. 0,400
0,955 d'acide carbonique,
0,149 d'eau;
I. 0,300 ont fourni $22^{c.c.},5$ d'azote à $0^{m},760$ et à 0°.

Ces nombres conduisent à la formule suivante :

			TROUVÉ.	
		Calculé.	I.	II.
ıı²	1200	64,80	65,45	65,11
ıı²	75	4,05	4,08	4,13
z²	177	9,55	9,50	9,50
'	400	21,60	20,97	21,26
	1852	100,00	100,00	100,00

(*La suite au prochain numéro.*)

OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES. — NOVEMBRE 1841.

JOURS.	9 HEURES DU MATIN.			MIDI.			3 HEURES DU SOIR.			9 HEURES DU SOIR.			THERMOMÈTR.		ÉTAT DU CIEL	VENTS
	Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	Maxim.	Minim.	A MIDI.	à MIDI.
1	756,80	+ 9,1		757,09	+10,9		757,10	+11.1		759,14	+ 9,0		+11,6	+ 7,1	Couvert.	S. O.
2	762,75	+ 8,3		762,80	+10,0		763,15	+10,2		764,10	+ 5,5		+11,2	+ 6,7	Brouillard	O. N. O.
3	765,77	+ 4,8		765,67	+ 7,7		765,50	+ 8,4		766,63	+ 7,5		+ 8,1	+ 2,2	Brouillard	N. N. O.
4	766,32	+ 7,0		766,36	+ 8,2		765,87	+ 9,1		767,60	+ 8,5		+ 9,0	+ 5,1	Couvert.	S. E.
5	767,59	+ 3,9		767,40	+ 6,4		767,69	+ 7,4		768,36	+ 5,8		+ 7,6	+ 3,0	Couvert	E.
6	769,39	+ 5,0		769,40	+ 6,1		768,83	+ 6,1		768,93	+ 4,3		+ 6,0	+ 3,9	Brouillard	S. E.
7	769,30	+ 2,8		769,20	+ 3,4		768,54	+ 4,0		768,76	+ 2,7		+ 3,9	+ 2,0	Brouillard	S. E.
8	768,48	+ 1,7		768,37	+ 2,6		767,72	+ 3,9		768,13	+ 3,5		+ 3,9	+ 0,9	Brouillard	S. E.
9	768,58	+ 1,5		768,42	+ 3,8		767,43	+ 6,5		766,96	+ 5,7		+ 7,1	+ 0,6	Brouillard	S. S. E.
10	765,82	+ 2,4		764,81	+ 6,2		764,95	+ 7,2		762,60	+ 8,7		+ 8,7	+ 1,0	Brouillard	S.
11	761,08	+ 7,5		760,32	+10,3		759,68	+10,7		759,95	+ 9,5		+10,9	+ 7,5	Couvert	S. O.
12	753,16	+10,4		751,53	+11,2		749,15	+10,8		748,32	+ 9,5		+11,1	+ 8,4	Couvert	S. S. O. fort.
13	749,68	+ 6,0		749,18	+ 8,5		748,27	+ 9,0		744,11	+ 7,3		+ 8,9	+ 4,2	Couvert	O. S. O. fort.
14	734,16	+ 6,2		734,29	+ 6,2		734,24	+ 5,0		740,35	+ 3,8		+ 7,0	+ 3,1	Très-nuageux	O. S. O. viol.
15	746,85	+ 1,9		745,38	+ 2,8		742,28	+ 3,0		740,84	+ 0,6		+ 3,3	+ 0,7	Couvert	S. S. O.
16	741,46	+ 1,3		743,55	+ 2,4		746,15	+ 2,7		749,63	+ 1,3		+ 2,9	0,0	Couvert	O. N. O.
17	752,38	+ 1,4		751,81	+ 2,5		749,54	+ 4,0		743,85	+ 2,2		+ 4,0	— 1,4	Très-nuageux	S.
18	736,89	+ 8,4		741,07	+ 8,2		764,49	+ 7,8		750,43	+ 5,6		+ 9,1	+ 1,0	Couvert	O. fort.
19	749,49	+ 4,6		747,42	+ 8,2		745,52	+10,7		745,64	+11,6		+11,6	+ 1,8	Pluie	S.
20	747,73	+ 9,8		746,27	+12,1		744,88	+10,4		747,13	+10,6		+13,0	+ 8,0	Couvert	S. S. O.
21	750,78	+10,3		749,71	+11,8		748,41	+12,8		747,47	+12,4		+12,7	+ 8,2	Pluie par moments	S. S. O. fort.
22	745,70	+13,4		744,68	+15,6		744,52	+15,4		747,38	+11,8		+16,5	+12,2	Couvert	S. S. O.
23	753,30	+ 5,3		752,14	+ 8,8		750,31	+ 8,9		748,56	+ 7,1		+ 9,6	+ 3,9	Beau.	O. S. O.
24	754,30	+ 5,8		756,34	+ 8,4		757,04	+ 7,7		757,95	+ 5,0		+ 8,7	+ 4,6	Couvert.	O. N. O. tr. f.
25	747,87	+ 5,0		749,56	+ 3,4		751,64	+ 4,3		755,75	+ 3,0		+ 4,3	+ 2,8	Couvert.	N. N. O. fort.
26	756,81	+ 1,2		755,97	+ 4,2		755,03	+ 4,6		754,90	+ 3,7		+ 4,7	0,0	Très-nuageux	S. E.
27	753,35	+ 5,2		752,94	+ 8,0		752,22	+10,6		752,47	+10,3		+10,9	+ 3,0	Brouillard	S.
28	753,00	+10,8		753,23	+12,6		752,59	+12,4		751,66	+11,2		+12,9	+10,5	Nuageux	S. O.
29	746,86	+11,6		746,20	+12,5		743,98	+13,4		742,00	+12,9		+13,6	+11,1	Couvert	S. S. O. fort.
30	739,61	+15,6		740,15	+14,9		741,01	+14,3		743,53	+11,0		+15,9	+12,8	Couvert	S. violent.
1	766,18	+ 4,8		765,94	+ 6,5		765,68	+ 7,4		766,07	+ 6,1		+ 7,7	+ 3,3	... Moy. du 1er au 10	Pluie en cent.
										747,07	+ 6,3		+ 8,2	+ 3,8	... Moy. du 11 au 20	Cour. 5,996

Sur les lunettes achromatiques à oculaires multiples ;

PAR M. BIOT (1).

La question physico-mathématique qui fait l'objet de ce Mémoire a beaucoup occupé les géomètres. Euler surtout y est revenu un grand nombre de fois, à mesure que la confection des instruments se perfectionnait ; et il a fini par établir, dans son *Traité de Dioptrique*, des formules d'une élégance remarquable, où les conditions des systèmes optiques quelconques sont généralement exprimées, pour le cas d'un point rayonnant situé sur le prolongement de leur axe central. Néanmoins ces formules n'ont, je crois, jamais servi à devancer l'expérience pratique, ni même à compléter les améliorations qu'elle atteignait, en fournissant des règles sûres et applicables pour les diriger. Car, à la vérité, on en a tiré assez facilement les conditions essentielles de l'oculaire achromatique à deux verres, pour le cas où l'image réelle doit se former entre eux, comme dans la construction due à Campani et à Huyghens. Mais lorsque cette image doit leur être antérieure, comme cela est nécessaire dans les instruments astronomiques destinés à contenir des fils micrométriques, la construction indiquée par Ramsden est restée, je crois, jusqu'ici, un résultat d'expérience; ou, du moins, les conditions de cette construction n'ont pas été déduites des formules assez généralement, comme avec assez d'évidence, pour servir à guider les artistes. Car la plupart d'entre eux, et jusqu'à Frauenhoffer lui-même, ont établi ce genre d'oculaire sur des proportions que la théorie montre être fautives, et incompatibles avec l'achromatisme qu'on en attend. Quant à l'o-

(1) Extrait des *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, séance du 6 décembre 1841.

culaire triple, son action n'a pu être calculée ainsi que pour des suppositions particulières que l'expérience pratique réprouve. Enfin, lorsque le nombre des verres devient égal ou supérieur à quatre, le problème, envisagé comme le fait Euler, présente une indétermination que l'on ne voit aucun moyen de fixer. Aussi, personne n'a réussi jusqu'à présent à déduire de ses formules les conditions théoriques des oculaires achromatiques pour ces cas complexes; et les artistes les plus habiles ne sont parvenus à les construire, avec les qualités qu'ils possèdent dans les lunettes actuelles, qu'en se guidant sur des essais multipliés, qu'aucune expression théorique ne dirigeait.

Ce défaut d'applicabilité des formules d'Euler tient à deux circonstances. La première, c'est qu'elles ne sont pas explicites, mais symboliques; c'est-à-dire que les quantités littérales qui les composent n'expriment pas des éléments constitutifs de l'appareil que l'on puisse emprunter à la pratique et réduire en nombres immédiatement, pour en apprécier les effets directs. Elles représentent des résultats complexes, qui dérivent, à la vérité, de ces éléments primitifs, mais qu'il faut en conclure progressivement par des éliminations successives, dont l'effectuation algébrique devient bientôt impraticable par la complication qu'elle acquiert, pour peu que les verres assemblés se multiplient. De sorte qu'il devient alors impossible d'apprécier, ou même de conjecturer, l'influence des éléments primitifs sur le résultat final. La seconde circonstance défavorable, qui dérive en partie de celle-là, mais qui a aussi une autre cause plus cachée que j'indiquerai tout à l'heure, c'est que, dans ces cas complexes, les quantités qui restent analytiquement arbitraires dans les formules d'Euler, ne sont pas celles qui ont une influence déterminante sur les effets de l'instrument; de sorte qu'on ne peut pas se guider sur les résultats de l'expérience pour leur assigner les valeurs les plus convenables, ni pour assujettir immédiatement l'appa-

il complexe aux conditions essentielles qui assurent sa rfection.

La nouvelle forme d'analyse sous laquelle j'ai présenté la éorie des instruments d'optique, dans le premier volume mon *Astronomie* récemment publié, se distingue de lle d'Euler par plusieurs caractères qui la rendent exempte s inconvénients que je viens de signaler. D'abord, elle t plus générale, en ce qu'elle s'applique aux points lumi- ux angulairement peu distants de l'axe central, comme ceux qui sont situés sur cet axe même. En second lieu, s résultats y sont explicites. Enfin, ce qui est le principe sentiel de son efficacité, tous les appareils, quels qu'ils ient, s'y trouvent uniquement définis par trois coefficients rincipaux, qui seuls déterminent leur action sur les rayons mineux. On découvre ainsi avec évidence la cause fonda- entale de l'imperfection dans laquelle cette théorie était squ'à présent restée. C'est que les distances focales des ntilles et leurs intervalles, dont on faisait dépendre les fets des appareils, ne les caractérisent pas individuelle- ent, mais en se rassemblant par groupes dans ces trois efficients principaux, qui seuls déterminent finalement s résultats. En sorte qu'il faut uniquement s'attacher à ré- ler leurs valeurs, en les assujettissant à remplir les condi- ons de continuité et d'achromatisme, pour les réaliser nsuite par quelqu'une des combinaisons équivalentes qui nt aptes à les reproduire, et dont le choix plus ou moins vorable est indiqué par l'analyse même, ainsi que par les ons effets des instruments analogues déjà construits anté- ieurement.

La faculté avec laquelle ces nouvelles formules résolvaient s questions générales d'optique regardées jusqu'alors omme les plus complexes, m'avait fait espérer que la ques- ion des oculaires multiples deviendrait ainsi généralement ccessible avec leur secours. Je n'avais rencontré, en effet, ul obstacle en les employant pour des oculaires à deux

verres, considérés dans les circonstances les plus variées de leur application. Mais, lorsque je voulus les étendre aux oculaires multiples, composés d'un nombre quelconque de lentilles, les termes qui paraissaient inévitablement devoir les composer, se multiplièrent dans une progression si rapide, que je fus bien près de désespérer de cette tentative, à cause de l'excessive complication où elle conduisait.

Les inventeurs des méthodes nouvelles ont été souvent arrêtés dans leurs applications pour ne les avoir pas suivies avec assez d'assurance, préoccupés qu'ils étaient des formes anciennes auxquelles ils s'étaient habitués antérieurement. Malgré les avantages décisifs que j'avais trouvés, à définir les appareils optiques par les seuls coefficients principaux qui les caractérisent, je m'étais obstiné d'abord à introduire dans cette dernière recherche les distances focales principales des lentilles et leurs intervalles, comme on l'avait fait jusque alors, supposant que les expressions explicites dont je faisais usage rendraient les résultats assez évidents pour les pouvoir interpréter. Mais l'impossibilité de réussir par cette voie embarrassée, me ramena enfin à la véritable, qui était celle que je m'étais moi-même ouverte. Dès que j'y fus rentré, je reconnus, dans les éléments du calcul même, la sûreté de la marche que je suivais. Car toutes les quantités qui se présentaient analytiquement comme arbitraires, étaient précisément celles que l'expérience pratique emploie avec succès, sous des formes infiniment variées dans ces constructions : et l'on pouvait bien voir aussi dans les formules que c'étaient celles-là qui devaient influer le plus efficacement sur les résultats. Je fus ainsi conduit à reconnaître, non sans surprise, que toutes les conditions de continuité, de grossissement angulaire et d'achromatisme, dans un oculaire composé d'un nombre de lentilles quelconques, dépendent seulement, en définitive, de la résolution d'une simple équation du second degré, facile à former, à interpréter, et à traduire numériquement.

Cette équation se réduit même au premier degré, si l'on fait coïncider la première lentille oculaire avec le foyer de l'objectif.

Lorsque l'on examine les lunettes à oculaire quadruple, qui servent à la mer, ou sur la terre, pour découvrir les objets distants, et qui les font voir dans leur situation naturelle, on est étonné de la diversité des combinaisons par lesquelles des opticiens habiles sont parvenus à leur faire produire d'excellents effets. Ainsi les appareils de ce genre, qui ont été fabriqués en Angleterre par Ramsden, ou par les Dollond, sont disposés tout autrement que ceux qui sont sortis des mains de Frauenhoffer; et l'on a trouvé encore d'autres constructions très-bonnes, qui diffèrent de celles-là. Toutes pourtant ont été obtenues par la simple pratique judicieusement dirigée. Mais alors, on est conduit à se demander quels sont les éléments qui peuvent y être ainsi presque indifféremment admissibles? et quels sont, au contraire, ceux dont l'emploi commun décèle un principe essentiel de perfection? car, si un tel principe existe, ce sera évidemment les conditions de son existence qu'il faudra chercher à démêler dans la théorie, pour l'établir plus sûrement et plus rigoureusement que la simple pratique n'a pu le faire.

Or, en effet, tous les appareils dont il s'agit présentent un caractère qui leur est commun. C'est que, dans les plus parfaits du moins, toutes les images qui se forment réellement ou virtuellement par l'action successive des verres, ne s'écartent jamais des lentilles oculaires qu'à des distances très-petites, comparativement à la longueur focale actuelle de l'objectif, supposé achromatique, auquel le système oculaire complexe est appliqué. De manière que les rayons qui composent chaque pinceau lumineux, originairement émané d'un même point de l'objet, rencontrent toujours chaque lentille oculaire sur des portions de sa surface peu distantes entre elles; circonstance évidemment très-favora-

ble pour prévenir l'éparpillement latéral de leurs foyers. Par exemple, si l'on considère ainsi la première image produite par les pinceaux que l'objectif, supposé individuellement achromatique, a d'abord réfractés, le lieu de cette image, réelle ou virtuelle, est tantôt antérieur au premier verre de l'oculaire, et tantôt lui est postérieur, selon les diverses combinaisons adoptées. Même, dans certaines lunettes appelées polyaldes, qui produisent des grossissements angulaires variables, par les divers écartements que l'on donne aux deux oculaires binaires, qui composent l'oculaire total quadruple, l'image formée par l'objectif passe successivement de la position antérieure à la position postérieure. Mais sa distance à la première lentille oculaire reste toujours très-petite, comparativement à la longueur focale de l'objectif, dans toute l'amplitude de course que l'on permet à l'instrument; et elle coïncide exactement avec cette lentille dans le passage de l'état antérieur à l'état postérieur.

Tout indique donc que la petitesse relative de cet écart est une condition essentielle de la bonté des appareils. Or, il se trouve être précisément une des indéterminées les plus apparentes de nos formules nouvelles, et une de celles dont on peut le plus aisément disposer. On le réglera donc à volonté, dans chaque cas de construction, en lui assignant une valeur positive ou négative très-petite, comparativement à la longueur focale de l'objectif; et l'on résoudra alors l'équation de l'achromatisme pour celle de ces déterminations qu'on aura choisie.

Il ne me reste plus qu'à indiquer la marche par laquelle je suis arrivé à ce résultat si simple. Quel que soit le nombre des lentilles qui doivent composer l'oculaire total, je le décompose idéalement en deux systèmes partiels, séparés par un intervalle indéterminé, qui sera par exemple celui que l'on fait varier dans les lunettes polyaldes. En adoptant ce mode de partage, que je choisis pour sa simplicité, le

système antérieur se composera seulement de deux lentilles, pouvant si l'on veut se réduire analytiquement à une seule; et le système postérieur contiendra toutes les autres en nombre quelconque que l'on voudra ajouter théoriquement à celles-là. Cette décomposition s'opère par mes formules, de même qu'un artiste démonte une lunette en séparant ses tuyaux, et avec la même facilité. Chacun des systèmes partiels ainsi spécifiés est défini complétement et uniquement par ses trois coefficients principaux; et il y a encore une autre indéterminée qui est la distance du premier verre de l'oculaire total à l'objectif, dont la longueur focale est censée connue. Voilà donc en tout huit indéterminées dont on peut disposer, savoir, les six coefficients principaux et les deux intervalles. On les oblige d'abord à faire venir la première image près du premier verre oculaire, à la petite distance que l'on veut choisir. On les assujettit ensuite à réaliser dans tout l'appareil un grossissement angulaire assigné; et enfin, à disperser les foyers diversement colorés de chaque pinceau, sur une même droite dirigée au point oculaire du système total, en quoi consiste la condition d'achromatisme pour ces instruments. Ces trois conditions étant écrites, il reste encore cinq quantités arbitraires sur les huit; de sorte que tous les éléments qu'elles représentent, dans les deux systèmes partiels, peuvent être pris à volonté, sauf toutefois de donner à l'équation de l'achromatisme des racines réelles, et aussi de produire des valeurs physiquement réalisables pour les deux intervalles inconnus que le calcul fait découvrir. Mais cela est très-facile, parce que l'équation à résoudre pour l'achromatisme n'est jamais, comme je l'ai dit, que du second degré; et quand ses racines sont connues, les deux intervalles s'en déduisent linéairement; de sorte qu'on peut toujours modifier aisément les indéterminées des deux systèmes partiels de manière que les racines de cette équation soient réelles, et les intervalles possibles; ce qui peut se faire par

une infinité de combinaisons différentes, lesquelles correspondent à la diversité des constructions que la pratique a déjà reconnues exécutables, et à une infinité d'autres encore qu'elle n'avait pas pu deviner.

J'ai dit que, dans les applications déjà réalisées, l'expérience avait fait exclure les dispositions dont l'effet le plus immédiat aurait été de porter les images successives, réelles ou virtuelles, à de grandes distances des verres qui doivent recueillir les rayons qui les composent. Ces dispositions, considérées analytiquement, donnent à certains termes de l'équation de l'achromatisme des valeurs excessivement considérables; et comme les éléments des systèmes que l'on détermine résulteraient de leur mutuelle opposition, l'achromatisme ne pourrait exister que sous la condition d'une exécution presque mathématiquement rigoureuse des valeurs calculées, hors de laquelle l'instrument deviendrait tout à fait défectueux. L'inconvénient physique de ces dispositions périlleuses se trouve ainsi expliqué, et il devient facile de s'en garantir. En les excluant du calcul, comme on les exclut de la pratique usuelle, l'équation de l'achromatisme se simplifie encore par des approximations toujours admissibles pour les grossissements un peu considérables; et elle n'offre plus alors que quelques termes à réduire en nombres, si multiplié que puisse être le système de lentilles que l'on veuille associer, dans l'oculaire, au système binaire antérieur.

Comme les résultats numériques sont, en définitive, l'épreuve la plus sûre et la plus indispensable des théories analytiques, j'ai employé la marche précédente pour calculer un oculaire achromatique quadruple, qui fût, aussi intimement que possible, assimilable à un excellent oculaire polyalde de Dollond que possède un de nos plus habiles opticiens, M. Rossin, successeur et neveu de M. Cauchoix. J'ai pris d'abord pour données arbitraires du calcul, le système des deux derniers verres situés près de l'œil, tel que

tiste anglais l'avait employé; et j'ai adopté aussi deux trois coefficients principaux de son système antérieur. s, je me suis proposé de déterminer le troisième, ainsi l'intervalle intermédiaire, et la distance du premier re à l'objectif, de manière que le système total fût exacent achromatique, lorsque l'image formée par l'objectif né venait tomber précisément sur le verre antérieur du mier système; ce qui était un des cas que l'instrument isait, dans l'amplitude totale de course qui lui était mise. J'ai trouvé alors qu'il n'était pas tout à fait achroique pour ce cas là. Mais en faisant varier, par le cal, la distance de l'image à ce même verre antérieur, ume elle varie dans le jeu de l'instrument, j'ai reconnu il devenait exactement achromatique dans une position respondante à très-peu près au milieu de sa course totale. isi la pratique seule, aidée par les rectifications expériatales que les opticiens habiles emploient toujours, avait ené l'artiste anglais à rendre son instrument le plus par possible, pour la phase moyenne autour de laquelle il ait varier son pouvoir amplifiant. Il eût été en conséence bien plus avantageux, comme aussi plus commode, le construire immédiatement et sans essais, d'après ces lications certaines, se réservant encore toute la liberté choix qu'elles permettent pour les éléments demeurés bitraires dans le calcul. Mais j'imagine que c'est la prerère fois qu'on en obtient de telles indications théoriques ur de semblables cas.

Dans la partie analytique du Mémoire, dont ceci n'est e l'exposé préliminaire, j'ai discuté avec détail toutes les rticularités de grandeur, ou de signe, qu'il convient de nner à ces éléments arbitraires pour assurer à l'appareil qualités qui sont les plus désirables; et ces raisons de connaance, successivemeut introduites, restreignent l'indémination primitive du problème, beaucoup plus qu'on serait porté à le supposer. Si, comme je l'espère, cette

triques de cuivre, et de deux cylindres de zinc interposés. Sa hauteur est de 8 pouces ($0^m,20$), son diamètre de 5 ($0^m,13$), et la surface du zinc (en tenant compte des deux côtés) est de $1^{p.c.},73$ (16 déc. car.). Le mode de rupture du circuit est indiqué dans la même figure.

Expériences relatives à l'induction d'un courant sur lui-même.

Lorsque l'électricité a une faible intensité, comme dans le cas d'une pile thermo-électrique, ou d'un seul grand élément voltaïque faiblement excité, la spirale n° 1, interposée dans le circuit, donne à l'instant de la rupture, les plus brillantes étincelles. Les secousses correspondantes sont très-faibles. Le courant induit dans ce cas est donc un courant de *quantité considérable*, mais de *faible intensité*.

Si la longueur de la spirale augmente, l'élément voltaïque restant le même, les étincelles deviennent moins vives et les commotions plus fortes : celles-ci diminuent lorsque la longueur de la spirale dépasse une certaine limite, à cause de la diminution de conductibilité qui en résulte.

En augmentant l'intensité de l'électricité de la batterie, l'effet produit par la spirale reste le même (1). Mais si, dans ce cas, le ruban est remplacé par un long fil, les secousses deviennent très-fortes. Elles sont très-énergiques, par exemple, si l'on emploie avec une pile à auge à dix éléments, la bobine de fil de cuivre. Il en est de même avec l'hélice n° 1 et une pile à auges de trente-cinq paires, qui seule donne une commotion très-faible.

On peut réduire la dimension des plaques de la batterie sans qu'il en résulte une diminution correspondante dans l'intensité de la commotion. En faisant passer le courant

(1) M. Henry avait d'abord annoncé que l'effet obtenu avec un ruban court diminuait lorsqu'on augmentait le nombre des éléments de la pile; il a reconnu depuis, qu'il avait été induit en erreur par la rapidité avec laquelle l'énergie de la pile s'affaiblissait, et a rectifié ce point de ses recherches dans son dernier Mémoire.

'une petite pile formée de six morceaux de laiton, d'un ouce et demi de longueur, et d'un nombre égal de mor-eaux de zinc à travers le fil de la bobine, les secousses taient ressenties par vingt-six personnes se donnant la ıain. Les étincelles sont moins vives qu'avec un seul élé-ıent et un court ruban.

Le courant induit dans ces expériences peut donc être onsidéré comme étant d'*intensité considérable*, mais de *aible quantité*.

Expériences relatives à la production des courants secondaires (courants de Faraday).

La spirale n° 1 fut disposée de manière à recevoir le ourant d'un seul couple voltaïque, et la spirale n° 2 pla-ée au-dessus d'elle avec une plaque de verre interposée our empêcher toute communication. (La position rela-ive des deux spirales est indiquée dans la *fig.* 3, dans la-uelle la spirale induite est remplacée par une hélice.)

A chaque rupture du circuit voltaïque, un courant in-luit traversait la spirale n° 2; on pouvait le reconnaître oit par les étincelles qui se manifestaient entre les deux xtrémités du ruban, frottées ensemble, soit en établissant a communication entre elles à l'aide d'une spirale magné-isante renfermant une aiguille dans son intérieur, des fils lu fer à cheval, ou d'un appareil propre à décomposer 'eau. Les secousses étaient extrêmement faibles. Le courant nduit était donc considérable en quantité, et d'intensité médiocre. En augmentant la longueur de la spirale induite, les étincelles étaient moins vives, le pouvoir magnétisant plus faible, et les commotions au contraire plus fortes.

On remplaça la spirale induite par une hélice de 2422^{m} de longueur, formée en réunissant les hélices n° 1 et n° 2; elle était de même poids que la spirale n° 2, ce qui permettait de comparer les effets produits sur deux conducteurs longs et courts, de même masse. Les effets magnétiques dis-

parurent; les étincelles étaient plus faibles, la décomposition moindre qu'avec la spirale n° 2; mais les secousses étaient extrêmement énergiques, et même dangereuses. Dans une expérience, cinquante-six personnes la reçurent en même temps; elle était comparable à celle d'une bouteille de Leyde faiblement chargée. Le courant induit dans ce cas avait donc une *grande intensité*, mais il était *faible en quantité*.

On observa néanmoins que l'intensité des chocs atteint son *maximum* pour une certaine longueur du fil de l'hélice induite: elle décroît si cette longueur est dépassée. La longueur correspondante aux plus fortes secousses augmente avec le diamètre du fil induit.

On substitua ensuite au couple voltaïque une pile à auges de soixante paires. Lorsque le courant de celle-ci traversait la spirale n° 1, les effets d'induction sur les spirales ou les hélices étaient nuls ou très-faibles. La longueur de la spirale, dans ce cas, n'était pas en rapport avec l'intensité de la batterie. L'induction était, au contraire, très-puissante quand la spirale inductrice était remplacée par l'hélice n° 1.

On fit agir celle-ci sur les hélices n°s 2 et 3 réunies; le courant induit donnait de vives secousses: la décomposition de l'eau était peu considérable, les effets magnétiques étaient nuls. C'était un courant d'intensité, induit par un courant aussi d'intensité.

On la fit agir ensuite sur l'une des spirales: les secousses étaient nulles, mais les effets magnétiques étaient très-marqués et les étincelles brillantes. Le courant induit avait donc, dans ce cas, les propriétés d'un courant de quantité.

On voit, d'après les expériences qui précèdent, que par une disposition convenable des appareils, on peut induire à l'aide d'un courant d'*intensité*, un courant soit d'*intensité*, soit de *quantité, et vice versâ*.

Les effets d'induction décroissent en intensité lorsque la distance entre les hélices et les spirales augmente: mais ils

ont encore sensibles à de grandes distances. En donnant, par exemple, à la spirale n° 1 la forme d'un cercle de leux pieds environ de diamètre (*fig.* 4), et en plaçant l'hélice n° 4 à 16 pouces (o^m,40) au-dessus, les secousses se ressentaient à travers la langue et devenaient de plus en plus vives à mesure que l'hélice s'approchait de la spirale. Elles augmentaient également si l'on faisait mouvoir l'hélice dans le plan de la spirale du centre vers la circonférence intérieure, et étaient très-faibles au contraire si l'hélice était placée à l'extérieur de la spirale. On conçoit ces livers effets en remarquant que les actions de chaque point de la spirale sur les deux parties opposées de l'hélice se contrarient, et que l'effet observé provient de leur différence: il doit augmenter avec les diamètres de l'hélice et de a spirale; c'est aussi ce que l'observation confirme.

En réunissant les spirales n°s 1 et 2, et en les faisant agir sur les hélices n°s 1, 2, 3 réunies, on a obtenu des commotions perceptibles à la distance de 36 pouces. Cette action était sensible à quatre pieds en faisant agir les spirales 1, 2, 3 et 4 réunies en une de quatre pieds de diamètre, sur le long fil de la bobine disposée de même.

Sur les effets produits par l'interposition de diverses substances entre les conducteurs.

Si l'on interpose entre la spirale n° 1 et l'hélice une plaque métallique, en les disposant comme dans la *fig.* 5, les secousses, qui sont très-intenses sans la plaque, deviennent très-peu sensibles lorsque la plaque est interposée. La diminution est d'autant plus forte que la distance de l'hélice à la spirale est plus grande et que les plaques interposées sont plus épaisses. Quant aux substances non conductrices, leur influence est nulle.

Cet affaiblissement dans l'effet d'induction est dû à des courants qui se développent dans la plaque, ainsi que le font voir les expériences suivantes.

Si, au lieu d'une plaque, on se sert, soit d'une spirale, soit d'une hélice, l'effet de cette dernière est nul lorsqu'elle est ouverte; la diminution dans le choc du courant d'induction est très-marquée au contraire lorsqu'elle est fermée.

Si l'on interpose une plaque circulaire de plomb dont un secteur a été enlevé, l'influence de la plaque est nulle; on ne peut pas supposer que l'action se transmet au travers de la fente, car on obtient le même résultat en employant deux plaques du même métal superposées de manière que la partie ouverte de l'une corresponde à la partie continue de l'autre. Si l'on soude deux fils aux deux bords de l'ouverture circulaire, et si on les fait communiquer avec les deux extrémités d'une petite spirale magnétisante dans laquelle est une aiguille à coudre, l'aiguille est aimantée lorsque la plaque est interposée entre l'hélice et la spirale, et le sens de son aimantation indique dans la plaque un courant de même sens que celui de la spirale inductrice.

La diminution dans l'effet d'induction s'observe également lorsque la plaque, la spirale ou l'hélice additionnelle, au lieu d'être interposées entre la spirale inductrice et l'hélice induite, sont au-dessus de celle-ci; seulement la secousse est moins affaiblie.

Sur les courants induits de troisième, quatrième et cinquième ordre.

La neutralisation de l'effet du courant primaire par le courant secondaire développé dans un conducteur interposé portait à conclure que si ce dernier courant pouvait être soustrait à l'influence du premier, il serait capable de développer par induction un courant dans un conducteur voisin. L'expérience a parfaitement justifié cette conclusion.

Pour le vérifier, on dispose les spirales comme il est indiqué *fig.* 6. La spirale *a* reçoit le courant de la pile ou du premier ordre; elle agit par induction sur la spirale *b*, dont les extrémités sont réunies à celle de la spirale *c*; le

courant du deuxième ordre développé dans *b* par la rupture de celui du premier ordre, traverse la spirale *c* et fait naître dans l'hélice *d* soumise à l'influence de cette dernière, un courant de troisième ordre. On obtient de même un courant de quatrième ordre en disposant les appareils comme dans la *fig.* 7, et l'on peut aller facilement jusqu'au cinquième ordre.

On peut, dans cette induction des courants de divers ordres, obtenir avec un courant d'*intensité* un courant de *quantité*, et *vice versâ*. Dans l'arrangement de spirales employé *fig.* 7, par exemple, le courant de deuxième ordre est un courant de quantité, et fait naître un courant de troisième ordre et d'intensité, lequel développe à son tour un courant de quatrième ordre et de quantité.

Cette intensité est, du reste, assez considérable: car, avec un courant de troisième ordre on put faire ressentir la commotion à vingt-cinq personnes se donnant la main, et l'on obtint des secousses sensibles dans les bras, avec un courant du cinquième ordre.

Lorsqu'on faisait communiquer les extrémités d'une hélice induite avec une spirale, ou *vice versâ*, comme il est indiqué *fig.* 8, le courant de l'ordre suivant était très-faible. Dans le premier cas, le nombre des tours de la spirale était trop petit relativement à la quantité d'électricité du courant de l'hélice; et dans le second cas, le courant de la spirale était d'une intensité trop faible pour passer à travers le fil de la longue hélice.

Ces courants induits de divers ordres sont affaiblis lorsqu'on interpose des plaques métalliques ou des spirales fermées entre les conducteurs, comme il a été indiqué pour les courants secondaires.

Pour déterminer les directions des courants induits de divers ordres, on employa une spirale magnétisante, le galvanomètre et la décomposition de l'eau, et l'on arriva par ces différents moyens à cette conséquence, qu'à partir du

courant secondaire, le sens du courant induit est contraire à celui de l'inducteur, de sorte que les signes des divers courants sont :

Courant primaire ou de la pile..... +
Courant secondaire, déterminé par la rupture du précédent..... +
Courant du troisième ordre, induit par le précédent..... −
Courant du quatrième ordre, induit par le précédent..... +
Courant du cinquième ordre, induit par le précédent..... −

Ce changement dans le sens des courants induits, à partir du deuxième ordre, fournit une explication simple de l'affaiblissement que l'on observe lorsqu'une plaque est interposée entre les conducteurs; le courant secondaire développé dans la plaque a la même direction que celui de la batterie, mais il tend à induire un courant de direction contraire dans le conducteur voisin.

La même propriété explique plusieurs effets relatifs à l'induction d'un courant sur lui-même. Si une spirale plate réunit les deux pôles d'une pile, on obtient par suite de cette induction, des étincelles à chaque rupture du circuit. Mais si l'on pose sur la première spirale une deuxième spirale fermée, l'intensité des secousses diminue, et lorsque les diverses spires sont mutuellement interposées en enroulant les deux rubans en une seule spirale, les étincelles disparaissent entièrement dans la spirale qui transmet le courant voltaïque, lorsque l'autre est fermée. Pour comprendre la raison de ce phénomène, il suffit de remarquer que le courant induit dans le premier conducteur est un vrai courant secondaire, et se trouve neutralisé par l'action du courant secondaire du conducteur voisin, lequel tend à induire un courant dans une direction opposée.

Il paraît aussi, d'après l'expérience précitée, que le courant induit dans le conducteur voisin est plus puissant que celui du premier conducteur; on conçoit qu'il en puisse être ainsi, la seconde spirale formant un circuit parfait, tandis que le circuit de l'autre peut être considéré comme

interrompu en partie, puisque pour rendre l'étincelle visible, l'électricité doit être projetée à une petite distance dans l'air.

Nous pouvons aussi conclure des observations précédentes, que deux courants secondaires contigus, produits par la même induction, doivent se contrarier l'un l'autre, chacun d'eux induisant un courant dans une direction opposée.

Production des courants induits de divers ordres au moyen de l'électricité ordinaire.

On peut au moyen de l'électricité ordinaire, obtenir une série de phénomènes analogues à ceux que présentent les courants voltaïques.

Un ruban d'étain de 30 pieds ($9^{m},12$) de longueur à peu près, fut roulé en spirale dans un cylindre de verre du diamètre d'environ 6 pouces ($0^{m},15$); un ruban semblable fut enroulé à l'extérieur, de manière que les parties correspondantes des deux spires étaient parallèles (*fig.* 9). Les bouts de la spirale intérieure sortaient du cylindre à travers un tube de verre, de telle sorte qu'aucune communication ne pouvait avoir lieu entre les deux conducteurs. Les deux bouts du ruban intérieur communiquant avec une spirale magnétisante contenant une aiguille, celle-ci fut fortement aimantée lorsqu'on fit passer la décharge d'une bouteille de Leyde de $\frac{1}{3}$ gallon ($2^{lit.},2$) à travers le ruban extérieur. Le sens du courant, déduit du sens d'aimantation de l'aiguille, était le même que celui du courant de la bouteille. Les effets furent les mêmes, que l'électricité + ou — fût en excès, ce qui suffit pour conclure que l'effet observé était bien analogue à ceux produits par les courants galvaniques, et non un effet de décharge latérale. Il en fut de même lors qu'on employa l'électricité provenant d'un conducteur de quarante pieds de long.

On peut aussi rendre sensible le développement de l'électricité induite, en plaçant à une petite distance l'un de

l'autre les deux bouts du ruban intérieur ; une étincelle jaillit entre eux lorsque l'électricité passe à travers le second ruban.

Un courant induit de troisième ordre fut aussi obtenu en faisant passer le courant de deuxième ordre, du ruban intérieur dans l'extérieur d'un second cylindre préparé comme le premier ; on put induire de même un courant de quatrième ordre. Le sens de chacun d'eux était + ou le même que celui de l'inducteur, de sorte que dans ce cas les courants de premier, deuxième, troisième et quatrième ordre avaient tous la même direction.

On employa de même pour ces expériences les spirales et les hélices comme dans celles faites avec les courants voltaïques, mais en les séparant par des lames de verre pour empêcher toute communication. On vérifia que les courants induits de divers ordres jouissaient de propriétés analogues à celles des courants induits par l'électricité des piles, et se trouvaient neutralisés comme ces derniers lorsqu'on interposait des plaques métalliques ou des spirales fermées entre les deux spirales inductrice et induite. On peut aussi dans ce cas s'assurer de l'existence de ces courants par les commotions. Un fait curieux est que les secousses étaient très-différentes en intensité avec différentes décharges de la jarre. Dans quelques cas, elles étaient très-faibles avec une charge assez forte, quoiqu'elles fusent très-sensibles avec une charge moindre.

Un autre fait également très-important à noter, est qu'en analysant le sens de chacun des courants induits de divers ordres (produits avec les spirales) à l'aide du magnétisme développé dans une aiguille placée dans l'intérieur d'une spirale ; on trouva que leurs directions étaient les mêmes que dans le cas de l'électricité voltaïque, tandis qu'avec les cylindres d'étain tous les courants induits étaient de même sens.

Après avoir fait plusieurs tentatives pour trouver la cause

de cette différence, on pensa qu'elle résidait dans l'inégalité de distance entre les systèmes inducteur et induit, distance qui était au plus de $\frac{1}{10}$ de pouce avec les cylindres, et de $1\frac{1}{2}$ pouce au moins avec les spirales et les hélices.

Pour vérifier cette conjecture, deux rubans d'étain de 12 pieds de long furent tendus parallèlement l'un à l'autre, et séparés par des plaques de mica à la distance de $\frac{1}{10}$ de pouce; on fit passer dans l'un d'eux la décharge d'une bouteille de Leyde; un courant de même sens fut induit dans l'autre. Il en fut de même à la distance de $\frac{1}{20}$ de pouce. A celle de $\frac{1}{8}$ de pouce, aucun courant induit ne put être obtenu. Le courant reparut à une distance plus considérable, mais il était de direction contraire à la précédente. Aucun autre changement ne fut observé dans le sens d'induction à mesure qu'on augmenta la distance.

Pour s'assurer si l'on pouvait légitimement employer l'aimantation des aiguilles placées dans la spirale pour en déduire le sens du courant, on fit passer à travers celle qui avait servi aux expériences précédentes une série de charges de quantité et d'intensité variables, depuis celle d'un conducteur à grande surface, jusqu'à celle d'une batterie de neuf jarres fortement chargées: le sens d'aimantation fut toujours conforme à la théorie.

D'après d'autres expériences, on peut établir que le courant induit par la décharge de la batterie est toujours de même sens que l'inducteur, lorsque les deux conducteurs sont très-rapprochés l'un de l'autre, mais qu'à une distance suffisante il devient de sens opposé. La distance à laquelle a lieu le changement de signe paraît augmenter avec la longueur des conducteurs et la charge de la batterie.

Puisqu'une décharge d'électricité ordinaire produit un courant secondaire dans un fil voisin, elle doit produire un effet analogue dans son propre conducteur, et l'on peut rapporter à cette cause l'action particulière exercée par un long conducteur. Il est bien connu que l'étincelle d'un long fil,

quoique très-courte, est extrêmement vive. On en a eu un exemple remarquable dans une expérience sur l'électricité atmosphérique, faite par une commission de l'Institut Franklin en 1836. Le fil du cerf-volant électrique avait un mille environ de longueur, le ciel était clair, et cependant les étincelles avaient une telle force, que quinze personnes se touchant par les mains reçurent la secousse quand la première touchait le fil. Une bouteille de Leyde ayant été saisie par le côté extérieur, et le bouton présenté au fil, on reçut une forte secousse comme si le verre eût été brisé, mais qui était le résultat d'une induction soudaine et intense.

Cet effet n'était pas dû à l'accumulation de l'électricité aux deux bouts du long fil, puisqu'il fallait approcher le doigt à $\frac{1}{4}$ de pouce pour tirer l'étincelle. Ce n'était pas dû à la quantité, puisque d'après les expériences de Wilson le même effet n'est pas produit avec la même quantité d'électricité répandue sur la surface d'un large conducteur. Il paraît que c'est un cas de l'induction d'un courant électrique sur lui-même. Le fil est chargé d'une quantité considérable d'électricité à faible tension, qui le traverse sous forme de courant, et l'induction a lieu au moment de la décharge, comme dans le cas d'un long fil transmettant un courant galvanique.

La décharge d'une batterie électrique sépare entièrement les unes des autres dans plusieurs cas, les parties des corps qu'elle traverse. La force répulsive qui se développe agit, en partie au moins, dans la direction de la ligne de décharge, et paraît analogue à l'action répulsive découverte par Ampère, entre les parties consécutives d'un même courant galvanique. On peut le vérifier en collant une bande étroite d'étain en feuilles sur une lame de verre, en la coupant en plusieurs parties, et en détachant du verre les extrémités de chacune d'elles. Si l'on fait passer la décharge d'une batterie au travers de la lame, les extrémités qui étaient d'abord contiguës sont relevées et souvent pliées

dans des directions opposées, comme il est indiqué *fig.* 10. Les effets bien connus que l'on observe dans une carte percée par une décharge électrique, paraissent dus à une action du même genre.

SECOND MÉMOIRE. (N° IV.)

(*Transactions de la Société philosophique américaine*, 8e vol.)

1. M. Henry a employé, comme dans ses recherches précédentes, un certain nombre de spirales planes et d'hélices à long fil, et une pile de Daniell de 30 éléments, dont les cylindres de cuivre ont 5 $\frac{1}{2}$ pouces environ de hauteur, et 3 $\frac{1}{2}$ de diamètre; ceux de zinc ont même hauteur, et 1 pouce de diamètre. Il s'est servi de deux galvanomètres : l'un a 500 tours de fil de cuivre fin; l'autre a 40 tours seulement d'un gros fil. Le premier sert pour reconnaître les courants d'intensité et de faible quantité; le deuxième sert pour ceux de quantité considérable et de faible intensité. L'aiguille est suspendue dans chacun d'eux avec un simple fil de soie écrue.

2. Lorsqu'on emploie avec les hélices une spirale électromagnétique, elle est formée d'un fil long et fin faisant 100 tours environ autour d'une paille creuse de 2 $\frac{1}{2}$ pouces de longueur. Celle que l'on emploie avec les spirales est formée d'un fil faisant 20 tours seulement, autour d'une pièce semblable.

Section I.

Sur l'induction produite au moment où le courant galvanique commence, etc.

3. *Influence du nombre des éléments de la batterie.* On fit passer le courant voltaïque à travers la spirale n° 2 (de 60 pieds de longueur), et on la fit agir par induction sur l'hélice n° 1, en augmentant progressivement le nombre des éléments de la batterie (*fig.* 3).

4. Avec un seul élément, la secousse du courant induit était très-forte au moment où le circuit inducteur était rompu, très-faible lorsqu'on le fermait; avec deux éléments, la dernière fut un peu augmentée; avec trois, l'accroissement fut plus marqué, pendant que la secousse au moment de la rupture restait à peu près la même. Avec dix éléments, les deux secousses étaient aussi fortes l'une que l'autre, et avec trente, la dernière ou celle du courant *inverse* était notablement plus vive que la première, ou que celle du courant *direct*.

5. Pour comparer les secousses l'une à l'autre, on élevait graduellement l'hélice au-dessus de la spirale, jusqu'à ce qu'en raison de la distance des conducteurs, la secousse la plus faible fût à peine sensible à travers les doigts ou la langue; l'autre, dans les mêmes circonstances, était sensible peut-être dans les mains. C'est par un moyen analogue qu'on a toujours comparé les commotions entre elles.

6. *Influence de la longueur du fil.* La batterie n'ayant qu'un seul élément, et le courant inducteur traversant la spirale plate de 60 pieds, la secousse du courant induit *inverse* est très-faible. Cette secousse devient de plus en plus vive, lorsque la longueur de la spirale est réduite successivement à 45, 30, 15 pieds. Elle diminue au contraire si la longueur est moindre que 15 pieds; mais cela provient de la diminution du nombre de tours de la spirale, dont chacun tend à augmenter l'effet d'induction. Car, si l'on conserve les 15 pieds dans le circuit, et si l'on ne donne qu'un seul tour à la spirale inductrice, on trouve que la secousse au moment où l'on ferme le circuit, augmente graduellement d'intensité à mesure que l'on diminue la partie du conducteur qui n'agit pas sur l'hélice. On peut donc établir en général, que l'induction de chaque unité de longueur du conducteur à l'établissement du circuit, est augmentée lorsqu'on diminue sa longueur.

7. La secousse du courant *direct* diminue avec la lon-

gueur du fil de la spirale plate, et cela a lieu à cause du moindre nombre de tours de cette spirale, comme il résulte de l'expérience suivante. On donna deux tours à la spirale; la secousse à la rupture du circuit était faible, sensible seulement à travers les mains. Diverses longueurs de ruban furent introduites dans le circuit, de manière à ne pas agir sur l'hélice, mais quoique leur longueur variât de 5 ou 6 pieds à 60 pieds, on ne perçut pas la moindre différence dans le choc. Ainsi, l'induction de chaque unité de longueur du conducteur au moment de la rupture du circuit n'est pas altérée, lorsqu'on change, au moins dans certaines limites, la longueur de tout le conducteur. On peut en conclure que la secousse dépend plus de l'intensité que de la quantité du courant, puisque celle-ci est diminuée dans l'unité de longueur du conducteur par l'allongement de ce dernier.

8. Nous avons vu qu'en employant dix éléments et la spirale n° 2, la secousse du courant induit était presque aussi forte au commencement du courant de la batterie qu'à la fin. On a trouvé que si, dans ce cas, on augmentait la longueur du ruban, la première diminuait; et il peut être établi comme conséquence de plusieurs expériences, que quelque grande que soit l'intensité de l'électricité de la batterie, la commotion du courant induit inverse peut être rendue à peine perceptible en donnant une longueur suffisante au circuit primaire.

9. La secousse à l'établissement du courant de la batterie est un peu augmentée lorsqu'on augmente l'épaisseur du ruban de la spirale, la longueur et l'intensité du circuit restant les mêmes. On s'en assura en usant d'une spirale double; l'électricité passait d'abord à travers l'une des spirales, ensuite à travers toutes les deux; la secousse de l'hélice dans ce dernier cas était plus forte que dans le premier.

10. On a donc deux moyens d'augmenter à volonté l'in-

duction au commencement du courant de la batterie. L'un consiste à augmenter l'intensité de la source électrique; l'autre à diminuer la résistance du conducteur au mouvement de l'électricité, pendant que l'intensité reste la même.

11. L'explication de ces divers effets ne paraît pas difficile. La résistance au mouvement de l'électricité, dans le cas d'un long conducteur et d'un seul élément, est si grande qu'on peut admettre que le courant primaire n'arrive pas à son plein développement avec une rapidité suffisante pour produire l'action instantanée de laquelle paraît dépendre la secousse du courant secondaire. Avec une batterie de plusieurs éléments, les pôles, avant de compléter le circuit, sont dans un état de tension électrique : la décharge à travers le conducteur peut être alors supposée plus soudaine, et l'induction est plus intense.

12. Que la secousse à l'établissement et à la rupture du circuit dépende en quelque sorte de la rapidité avec laquelle le courant s'établit ou diminue, c'est ce que montre l'expérience suivante, dans laquelle la tension mentionnée plus haut ne peut avoir lieu, et dans laquelle aussi le courant paraît diminuer plus lentement. Les deux bouts de la spirale furent placés dans les coupes situées aux pôles de la batterie et y restèrent constamment durant l'expérience: le ruban fut partagé en deux sur une longueur de 6 pouces environ à partir d'une de ses extrémités, de celle de droite, par exemple, de telle sorte que l'une des parties pouvait plonger dans la coupe contenant l'autre extrémité de la spirale. Avec cette disposition, le courant traversait le ruban dans toute sa longueur, lorsque les bouts extrêmes de la spirale communiquaient seuls avec les pôles; mais lorsqu'on plongeait l'une des parties de l'extrémité de droite dans la coupe de gauche, toute la longueur de la spirale, à l'exception des 6 pouces, était exclue du circuit de la batterie : le contraire avait lieu quand cette même partie était retirée de la coupe de gauche. Le courant de la spirale

pouvait de cette façon être soudainement établi et interrompu pendant que les pôles de la batterie étaient continuellement réunis par un conducteur, mais on n'obtint aucune secousse par cette manière d'opérer, soit que l'on se servît d'un seul élément ou d'une batterie composée.

13. La faiblesse de la secousse du courant induit inverse dans le cas d'un seul élément et d'un long ruban ne dépend pas seulement de la résistance qu'un long conducteur oppose au mouvement de l'électricité, mais aussi de l'influence contraire qu'exerce le courant secondaire induit dans le conducteur primaire lui-même : cela résulte des expériences suivantes. L'hélice n° 1 fut placée sur une spirale plate de trois tours seulement, disposée de manière à recevoir le courant d'un seul élément voltaïque : les secousses, au moment de la rupture et de l'établissement du circuit, se ressentaient dans les mains. Une spirale composée faite avec les rubans des spirales n°s 3 et 4, roulés de telle sorte que les tours formés par l'un des rubans alternaient avec ceux de l'autre ruban, fut alors introduite dans le circuit de manière à ne pas agir par induction sur l'hélice : lorsque le courant passait par l'un des rubans, l'autre étant ouvert, le choc du courant induit inverse était imperceptible dans les mains, tandis que celui du courant direct était aussi fort qu'auparavant. Au contraire, si le second ruban formait un circuit fermé, la secousse du courant inverse était presque aussi forte que dans le premier cas. Le courant induit dans le second ruban neutralisait celui induit dans le conducteur primaire lui-même. A la rupture du circuit, la secousse était la même, soit que le deuxième ruban fût ouvert, soit qu'il fût fermé.

14. En disposant les appareils comme il est indiqué dans le premier Mémoire, on obtint aisément à l'établissement du courant de la batterie des courants induits de 3e, 4e, 5e ordre. On put aussi induire un courant d'intensité par un courant de quantité *et vice versâ*, et observer les effets

neutralisants ou affaiblissants de plaques métalliques interposées entre les conducteurs. En un mot, les divers courants induits au commencement du courant primaire paraissent posséder les mêmes propriétés que ceux développés à la fin du même courant.

15. Les directions des courants induits de divers ordres furent déterminées à l'aide du galvanomètre et de la spirale magnétisante, et furent trouvées alternativement contraires à partir du courant secondaire. Une circonstance digne de remarque est que l'aiguille de galvanomètre n'éprouvait qu'un mouvement très-faible par l'action des courants de 3e, 4e, 5e ordre, quoiqu'elle fût déviée très-fortement par le courant secondaire correspondant.

16. On peut obtenir une secousse sans se servir de spirale, en disposant 10 éléments de la batterie en cercle environnant l'hélice. Dans les expériences qui ont été faites sur ce point, la secousse du courant secondaire était sensible dans les mains à l'instant où l'on fermait le circuit; elle était perceptible à peine à travers la langue au moment de l'ouverture. On essaya aussi d'obtenir des inductions en plaçant l'hélice dans un cercle d'acide délayé uni à la batterie, au lieu de spirale. L'effet, s'il y en avait, était très-faible.

17. Lorsque le corps fait partie du circuit d'une pile de 120 éléments, sans spirale, on éprouve une vive sensation durant le passage du courant, et une secousse à l'instant de sa rupture. Celle-ci est évidemment due à un courant secondaire induit dans la batterie voltaïque elle-même. Le même principe peut servir à expliquer les effets physiologiques remarquables obtenus par le docteur Ure, sur le corps d'un supplicié. Le corps, dans ces expériences, faisait partie du circuit d'une pile, et le courant était fréquemment interrompu en promenant l'une des extrémités du conducteur sur les bords des plaques de la batterie. Il devait alors se développer dans la pile même une série de

courants induits plus intenses que le courant primaire.

18. Les vives secousses données par les poissons électriques peuvent aussi être dues à un courant secondaire, et la grande masse nerveuse trouvée dans ces animaux peut remplir le même objet qu'un long conducteur (1). C'est le seul moyen de concevoir, dans l'état actuel de nos connaissances, la production d'une électricité aussi intense dans des organes imparfaitement isolés et plongés dans un milieu conducteur. D'après les recherches qui précèdent, un courant de faible intensité peut induire dans un long fil un courant secondaire capable de donner de fortes secousses, quoique les différents tours soient simplement séparés les uns des autres par du coton. Quoi qu'il en soit, on peut imiter les effets des secousses du gymnote, décrits par Faraday. Si l'on immerge l'appareil, *fig.* 3, dans un vase à fond plat rempli d'eau, les poignées étant situées aux extrémités d'un diamètre de l'hélice, et les mains plongées dans l'eau suivant une ligne parallèle à ce diamètre, on ressent un choc dans les bras; mais quand le contact avec l'eau est établi suivant une ligne perpendiculaire à la précédente, on ne ressent qu'une faible sensation dans chaque main et non un choc.

Section II.

Sur deux espèces apparentes d'induction électro-dynamique.

19. Nous avons vu dans le premier Mémoire, que lorsqu'une plaque de métal est interposée entre la spirale inductrice et l'hélice induite, la secousse du courant secondaire est presque entièrement neutralisée. M. Faraday, dans la quatorzième série de ses *Recherches*, a été conduit à faire

(1) M. Masson a exprimé la même opinion dans sa Thèse.

des expériences sur la transmission de l'induction, et il a trouvé que des substances quelconques, isolantes ou non, interposées entre les deux conducteurs, n'exercent absolument aucune influence. Cette conclusion paraît en opposition directe avec celle indiquée plus haut; néanmoins, M. Henry ne pouvait conserver aucun doute sur la vérité des résultats qu'il avait annoncés, puisqu'un choc qui paralysait les bras était tellement réduit par l'interposition d'une plaque métallique, qu'il était à peine sensible à travers la langue.

20. En y réfléchissant, on conçoit que l'induction peut être produite de manière à ne pas être modifiée par la présence d'une plaque de métal. Supposons, en effet, qu'après avoir placé un barreau aimanté normalement à une plaque de cuivre, on approche brusquement une hélice de cette dernière: un courant induit sera développé dans l'hélice par son mouvement vers le barreau, puisque le cuivre, dans ce cas, n'affaiblit pas l'influence magnétique. L'effet devra être le même, si l'on substitue à l'aimant une spirale plate traversée par un courant galvanique. L'expérience faite ainsi qu'il vient d'être indiqué, en complétant le circuit de l'hélice à l'aide d'un galvanomètre, justifia ces prévisions. Quand la spirale était placée brusquement sur la plaque, l'aiguille marchait dans un sens, et quand elle était enlevée, dans le sens opposé; la déviation était la même, que la plaque fût interposée ou non.

21. Dans cette expérience, la plaque était immobile et ne partageait pas l'induction produite par le mouvement de l'hélice. Les recherches précédentes rendaient probable que le résultat serait différent si un courant était aussi engendré dans la plaque en la mouvant simultanément avec l'hélice. Néanmoins, en faisant l'expérience, on obtint la même déviation de l'aiguille du galvanomètre, lorsqu'on approchait l'hélice et la plaque, ou l'hélice seule, de la spirale inductrice.

22. Ce résultat inattendu était tellement remarquable, qu'il fut jugé nécessaire de répéter la même expérience de différentes façons. On substitua à la plaque une spirale plate; lorsqu'elle était fermée, les secousses du courant induit étaient beaucoup mieux neutralisées qu'avec la plaque. Cependant, l'effet sur le galvanomètre fut toujours le même, lorsque l'hélice était déplacée seule ou avec la spirale, cette dernière étant ouverte ou fermée. On obtint les mêmes résultats en développant l'induction par le mouvement de la batterie en activité.

23. L'expérience fut aussi essayée avec l'électricité développée par les aimants. 40 pieds environ de fil de cuivre, couverts de soie, furent enroulés sur un cylindre de carton, dans lequel on plaça un cylindre de cuivre contenant une barre de fer doux. Quand ce dernier était rendu magnétique, en mettant subitement en contact avec ses deux extrémités les pôles différents de deux aimants, un courant était développé dans le fil, et la déviation de l'aiguille du galvanomètre était la même, que le cylindre de cuivre fût interposé ou enlevé. Ou enroula deux fils de cuivre d'égales longueurs sur le milieu du contact d'un aimant en fer à cheval, et les extrémités du fil extérieur furent réunies à celles d'un galvanomètre. Un courant fut développé en remuant le contact sur les extrémités de l'aimant: l'effet sur le galvanomètre ne fut pas changé en joignant les extrémités du fil intérieur.

24. Dans les expériences qui précèdent, les courants induits ont une durée appréciable, comparable à celle du mouvement de l'hélice; ils ont une faible intensité, et l'on n'obtient pas de secousses avec les courants de cette espèce, quelle que soit la disposition des appareils. Dans celles qui ont été rapportées dans le premier Mémoire et dans la première section de celui-ci, les courants induits sont développés, au contraire, par l'établissement ou la rupture du circuit galvanique; ils ont une durée extrêmement courte et

une grande intensité. Sous ce rapport, ils sont distincts de ceux de la première espèce. On peut donc conclure qu'il y a deux espèces d'induction électro-dynamique : l'une peut être neutralisée par l'interposition de plaques métalliques entre les conducteurs ; l'autre ne l'est pas.

25. Il était important d'étudier de nouveau avec le galvanomètre les phénomènes d'induction produits à l'établissement et à la rupture du circuit galvanique. Cette étude a conduit, ainsi qu'on va le voir, à la découverte de nouveaux faits très-intéressants.

26. En premier lieu, lorsqu'on emploie les indications du galvanomètre et celles d'une spirale magnétisante, on observe que, quoiqu'elles s'accordent pour ce qui concerne la direction des courants induits, elles sont très-différentes par rapport à l'intensité de l'effet produit. Ainsi quand, par la disposition des appareils, l'induction était si faible à l'établissement du circuit de la batterie que l'aiguille de la spirale était à peine aimantée, et si puissante à la rupture que la même aiguille était aimantée à saturation, les déviations galvanométriques étaient les mêmes dans les deux cas.

27. De semblables différences furent observées en comparant les déviations et les secousses. Dans une expérience par exemple, la commotion était si faible à l'établissement du circuit qu'elle était à peine perçue dans les doigts, et si forte à la rupture, qu'on la ressentait dans la poitrine ; cependant, le galvanomètre était dévié dans le premier cas, d'environ 35° à droite, et dans le deuxième, d'un égal nombre de degrés vers la gauche.

28. Dans une autre expérience, une spirale magnétisante et le galvanomètre furent introduits ensemble dans le circuit de l'hélice. Lorsque le circuit de la batterie fut fermé, l'aiguille du galvanomètre fut déviée de 30°, et celle placée dans la spirale ne montra aucun signe de magnétisme ; le circuit ayant été rompu, la dernière aiguille se

trouva fortement aimantée, et la première fut déviée de 30° comme auparavant, mais dans le sens opposé.

29. Des résultats semblables furent obtenus quand on disposa les appareils de manière que les secousses produites par l'induction au commencement du courant de la batterie fussent prédominantes. Le galvanomètre était alors affecté à peu près également à l'établissement et à la rupture du circuit de la pile.

30. En analysant par les mêmes procédés les courants de troisième, quatrième et cinquième ordre, les indications relatives aux sens des courants s'accordaient les unes avec les autres, mais celles relatives à l'intensité étaient très-différentes.

Les courants de troisième, quatrième et cinquième ordre produisent des effets très-petits sur le galvanomètre, comparativement à ceux du courant secondaire (1re section). Cela n'est pas dû seulement au décroissement des inductions successives. Ainsi, en élevant l'hélice au-dessus de la spirale, on pouvait diminuer le choc du courant secondaire et le rendre inférieur à celui du courant tertiaire. Néanmoins, la déviation du galvanomètre était dans le premier cas de 35°, et dans le second de 1° au plus. Avec les courants de quatrième et de cinquième ordre, les déviations étaient encore moindres.

31. On observa des différences analogues lorsqu'on étudia par les mêmes procédés l'action neutralisante des plaques métalliques, telle qu'elle a été considérée dans le premier Mémoire. On fit passer, par exemple, à travers la spirale inductrice, le courant d'une pile de 10 éléments, et l'on introduisit dans le circuit de l'hélice induite le galvanomètre et une spirale magnétisante; on trouva que l'interposition d'une plaque de zinc entre la spirale inductrice et l'hélice induite n'altérait pas les déviations du galvanomètre, tandis qu'elle diminuait l'action du courant induit sur une aiguille d'acier trempé ou de fer doux placée dans

la spirale. De même, les secousses très-vives sans la plaque étaient presque entièrement neutralisées par l'influence de la plaque de zinc.

32. En remplaçant la plaque de zinc par une de fonte, de même surface et de près d'un pouce en épaisseur, l'action du courant induit sur le galvanomètre fut très-diminuée, et celle sur l'aiguille de la spirale fut neutralisée.

33. Une autre expérience fut faite en introduisant en même temps dans le circuit de l'hélice, le galvanomètre, la spirale magnétisante, et une goutte d'eau distillée; le pouvoir magnétisant de la spirale fut le même que sans l'eau, mais la déviation galvanométrique fut ramenée de 10° à 4°. Le corps fut en sus introduit dans le circuit: les secousses furent trouvées rudes, l'aiguille fortement aimantée, mais l'aiguille du galvanomètre fut moins déviée qu'auparavant. Le courant de faible intensité qui déviait l'aiguille du galvanomètre dans ces expériences, était intercepté en partie par la conductibilité imparfaite de l'eau et du corps.

34. L'expérience suivante met en pleine évidence les propriétés précédentes. On prépara un galvanomètre différentiel et une spirale magnétisante *double;* la spirale n° 1 unie à la batterie, fut placée perpendiculairement sur une table, et les spirales nos 3 et 4, disposées l'une à droite, l'autre à gauche de la première, et unies par leurs extrémités à celles du galvanomètre et de la spirale double, de telle sorte que le courant induit de l'une des spirales induites devait traverser le galvanomètre et la spirale dans une direction opposée à celle du courant de l'autre spirale. En disposant les deux systèmes induits à une distance convenable de l'inducteur, on parvint à faire en sorte que les courants induits se neutralisaient parfaitement dans les deux instruments, et que l'aiguille du galvanomètre et celle de la spirale n'étaient affectées ni l'une ni l'autre quand le circuit de la pile était fermé ou rompu. Lorsqu'on interposait la plaque de zinc de manière à affaiblir le courant induit

dans l'une des spirales, l'aiguille du galvanomètre restait parfaitement stationnaire, pendant que l'aiguille de la spirale magnétisante était puissamment magnétique. L'aiguille du galvanomètre se trouvait affectée quand on substituait la plaque de fer à celle de zinc.

35. On peut conclure des expériences précédentes, que le courant secondaire développé au moment où le circuit galvanique commence ou finit brusquement, en établissant ou en rompant le contact avec le mercure, consiste en deux parties qui possèdent des propriétés différentes. L'une d'elles est de faible intensité, peut être interrompue par un circuit d'eau, ne peut magnétiser des aiguilles d'acier trempé, et n'est pas affaiblie par l'interposition des plaques d'aucun métal, excepté du fer, entre les conducteurs. L'autre partie est d'intensité considérable, n'est pas interceptée par l'eau, développe le magnétisme dans des aiguilles trempées, est affaiblie ou neutralisée par des spirales fermées ou des plaques métalliques quelconques. Les courants induits développés en approchant ou en éloignant un conducteur du courant d'une batterie: ceux produits par le mouvement de la batterie en activité, sont de la première espèce; les courants de troisième, quatrième, cinquième ordre, partagent presque exclusivement les propriétés de ceux de la deuxième espèce.

Section III.

Considérations théoriques.

36. On peut donner des divers phénomènes exposés dans ce Mémoire et le précédent, une explication fondée sur les lois de l'induction au commencement et à la fin du courant galvanique.

37. Ces lois peuvent être établies ainsi qu'il suit: 1°. Pendant qu'un courant galvanique croît en quantité dans un conducteur, il induit, ou tend à induire, dans un conducteur parallèle voisin, un courant de direction opposée

à la sienne. 2°. Aucune action inductive n'est exercée lorsque la quantité du courant reste constante. 3°. Lorsqu'il commence à décroître en quantité, et pendant qu'il diminue, un courant induit est développé dans une direction opposée à celle du courant induit au commencement du courant primaire.

38. Il est bon de rappeler en outre, que *quand la même quantité d'électricité dans un courant de courte durée passe à travers un galvanomètre, la force qui dévie l'aiguille est la même, quelle que soit l'intensité de l'électricité.* On entend ici par intensité, la valeur d'une quantité donnée de force au moment où elle s'exerce, ou, plus correctement, le rapport de deux quantités de même espèce représentant la force et le temps; la proposition énoncée est alors une conséquence évidente des principes dynamiques. Du reste, ce point a été prouvé expérimentalement par M. Faraday, dans la 3e série de ses *Recherches.*

39. Supposons d'abord le cas où l'induction est produite en immergeant la batterie dans l'acide, et en la retirant de celui-ci. Durant la descente de la batterie dans le liquide, le conducteur qui lui est uni reçoit constamment des quantités additionnelles du courant d'électricité, et chacune de ces additions produit une action inductive dans le conducteur secondaire voisin. La quantité du courant induit produit à un moment quelconque doit être proportionnelle à l'accroissement correspondant du courant de la batterie au même instant. De même, la quantité d'induction à un moment quelconque pendant que le courant de la batterie diminue en quantité, doit être proportionnelle au décroissement au même moment.

40. Pour plus de clarté, représentons par les distances A*a*, A*b*, A*c* (*fig.* 11) les temps durant lesquels la batterie descend à diverses profondeurs dans l'acide, et par les ordonnées *ag*, *bh*, *c*B, les quantités correspondantes du courant électrique dans le conducteur. Les différences *ag*, *mh*,

*n*B expriment l'accroissement de la quantité du courant de la batterie pendant les instants représentés par A*a*, *ab*, *bc* ; puisque les actions inductives sont proportionnelles à ces accroissements, les mêmes différences peuvent représenter l'action inductive exercée au même moment sur le conducteur secondaire.

41. Lorsque la batterie est complétement plongée dans l'acide, ou quand le courant dans le conducteur a atteint sa quantité *maxima*, et durant tout le temps qu'il la conserve, aucune induction n'est exercée; cette condition est exprimée par la constance des ordonnées de la partie BC de la courbe parallèle à l'axe. De même, l'action inductive produite par chaque décroissement du courant de la batterie, à mesure que l'appareil est retiré de l'acide, peut être représentée par les différences des ordonnées de l'autre extrémité CD de la courbe.

42. La somme des divers accroissements du courant de la batterie, jusqu'à ce qu'il ait atteint son plein développement, est exprimée par l'ordonnée *c*B, laquelle peut aussi représenter la quantité d'action inductive exercée dans un certain sens au commencement du courant primaire; l'ordonnée égale C*d* représente de même toute l'induction dans le sens opposé à la fin du même courant. Les temps pendant lesquels l'action inductive s'exerce au commencement et à la fin sont exprimés par A*c*, D*d*.

43. Si nous supposons que la batterie soit plongée dans l'acide à la même profondeur, mais avec plus de rapidité qu'auparavant, le temps représenté par A*c* sera diminué, pendant que toute la quantité de force inductive développée restera la même. Puisque la même quantité de force s'exerce dans un temps moindre, l'action produite sera plus intense, et un courant de plus grande intensité, mais de moindre durée, sera engendré dans le conducteur secondaire. L'intensité relative des courants induits sera alors exprimée par le rapport de l'ordonnée B*c* à l'abscisse A*c*. En

général, l'intensité de l'action inductive à une époque quelconque peut être mesurée par le rapport de l'accroissement de l'ordonnée à celui de l'abscisse au même instant (1).

44. L'intensité plus ou moins grande de l'action inductive peut être figurée par la plus ou moins grande obliquité des diverses parties de la courbe vers l'axe. Si, par exemple, la batterie est subitement plongée dans l'acide à une petite profondeur, et immergée ensuite graduellement dans le reste du liquide, l'action variable sera représentée par la forme de AB, *fig.* 11. La courbure de la partie A*g* indique une action intense dans le temps A*a*, et celle de la partie *g*B une induction plus faible dans le temps *ac*. De même, en sortant la batterie, d'abord rapidement, ensuite lentement, nous produirons une action inductive qui pourra être représentée par la portion de courbe CD.

45. Cela posé, quelque variée que puisse être l'intensité de l'induction, nous pouvons conclure de ce qui précède, qu'un galvanomètre, placé dans le circuit du conducteur secondaire, sera également affecté au commencement et à la fin du courant primaire. Car, la déviation de cet instrument étant due à toute la quantité du courant, quelle que soit son intensité, et les ordonnées c B, C*d*, qui représentent la quantité de l'induction et conséquemment la quantité du courant secondaire dans les deux directions étant égales, les déviations au commencement et à la fin du courant de la batterie seront les mêmes dans tous les cas. Cette conséquence est d'accord avec l'observation : le galvanomètre est également dévié, que la batterie soit plongée lentement ou rapidement dans l'acide, quelque irrégulière que soit la manière dont on l'en retire.

46. L'intensité d'une partie de l'action inductive, par

(1) x et y représentant, comme à l'ordinaire, l'abscisse et l'ordonnée variables, l'intensité sera représentée par $\frac{dy}{dx}$. Dans quelques cas, l'effet est proportionnel au produit de l'intensité par la quantité, ou à $\frac{dy^2}{dx}$.

exemple de celle représentée par C*k*, peut être supposée assez grande pour produire un courant secondaire capable de traverser le corps et d'occasionner ainsi une secousse, pendant que celle des autres parties représentées par AB et *k*D peut être si faible, qu'elle affecte seulement le galvanomètre. On obtiendra dans ce cas l'un des résultats donnés dans la deuxième section, savoir, commotion très-faible à l'établissement du courant principal et très-vive à la rupture. Si l'on ne considérait que les chocs, il n'y aurait de courant induit qu'à la rupture seule du courant de la batterie; tandis que si l'on consulte le galvanomètre, les effets paraissent aussi puissants au commencement qu'à la fin du courant primaire.

47. Ces derniers résultats ne peuvent être obtenus en plongeant la batterie dans l'acide : la formation du courant, de cette façon, n'est pas assez rapide pour occasionner une secousse; mais on conçoit comment le même effet peut être produit dans le cas où le courant est développé d'une manière plus subite, en plongeant l'une des extrémités du conducteur dans une coupe remplie de mercure invariablement attachée à la batterie déjà dans l'acide et en pleine activité. Quoique le courant soit développé dans ce cas très-rapidement, il ne peut être supposé atteindre instantanément sa quantité maxima : la loi générale de continuité indique au contraire qu'il doit passer par les états intermédiaires, depuis celui où il est nul jusqu'à celui de son plein développement. Des considérations expérimentales conduisent à la même conclusion et aussi à la conséquence que le décroissement du courant n'est pas instantané. En admettant cette manière de voir, les actions inductives au commencement et à la fin du courant primaire, dans le cas où sa formation et son interruption ont lieu au moyen du contact avec le mercure, peuvent être aussi représentées par les diverses parties de la courbe, *fig.* 11.

48. Considérons maintenant comment le mode d'accrois-

sement et de diminution du courant peuvent être altérés par un changement dans les diverses parties de l'appareil. Prenons d'abord le cas d'un seul élément et d'un conducteur court, agissant sur l'hélice par un ou deux tours seulement : on n'a dans ce cas qu'une faible commotion, soit à l'établissement, soit à la rupture du circuit. Le seul obstacle au développement rapide du courant doit être, à ce qu'il semble, la résistance du métal au mouvement de l'électricité, et le courant doit s'établir plus rapidement si l'on augmente la tension de la pile : par suite, si le nombre des éléments de celle-ci est augmenté, la commotion à l'établissement du courant le sera aussi, pendant que celle à la rupture restera la même à fort peu près. On peut rappeler ici qu'il s'opère une accumulation du fluide électrique aux deux pôles d'une batterie composée, lorsqu'ils ne sont pas réunis : cette électricité se décharge au moment du contact, et dans ce cas le courant doit être développé plus rapidement, et produire ainsi une action plus intense sur l'hélice à l'établissement du circuit.

49. La secousse et la déviation de l'aiguille à la rupture du circuit avec une batterie composée et un fil court paraissent presque les mêmes qu'avec un seul élément, parce que l'accumulation du fluide électrique disparaît presque instantanément, et, d'après la théorie d'Ohm, le courant constant du conducteur conserve la même quantité d'électricité que celui produit par un seul élément. Les conditions du courant à la rupture sont donc les mêmes dans les deux cas. On peut établir, comme un fait d'accord avec toutes les expériences aussi bien qu'avec les considérations théoriques, que, *quand le circuit est rompu par le moyen du mercure, le mode de diminution du courant reste le même dans certaines limites, quoiqu'on fasse varier l'intensité de l'électricité et la longueur du conducteur.*

50. Les formes des courbes, *fig.* 12 et 13, peuvent servir à faire comprendre comment les phénomènes se passent

dans les cas précités. La première indique comment s'effectuent le développement et le décroissement graduel du courant dans un court conducteur avec un seul élément. Dans la deuxième, l'élévation brusque de AB indique l'intensité qui produit une plus forte secousse, lorsqu'on a augmenté le nombre des éléments de la pile. L'effet produit par l'accumulation de l'électricité aux deux pôles est représenté par la partie B*ce*; et quoique la secousse soit augmentée avec la batterie composée, l'aiguille du galvanomètre sera néanmoins déviée seulement du même nombre de degrés, puisque les parties B*c*, *ce* donnent des actions inductives dans des directions contraires, qui se neutraliseront à cause du peu de durée de chacune d'elles. La déviation finale sera conséquemment représentée par *ef* qui est égal à C*k*, ou à B*b* de la *fig.* 12.

51. La similitude du mode de décroissement de la partie CD de la courbe dans chacune des deux figures indique que l'intensité de la secousse à la rupture sera la même dans les deux cas.

52. Nous avons dit que la quantité d'électricité dans un court conducteur et une batterie composée est, après la première décharge, la même qu'avec un seul élément. La quantité exacte, d'après la théorie d'Ohm, est donnée par la formule $\frac{n\mathrm{A}}{rn + \mathrm{R}}$, dans laquelle n représente le nombre des éléments, A la force électromotive d'un seul élément, r la résistance d'un élément, et R celle du conducteur. Quand R est très-petit devant rn, comme dans le cas d'un court conducteur métallique, on peut le négliger, et l'expression ci-dessus devient $\frac{n\mathrm{A}}{rn} = \frac{\mathrm{A}}{r}$; et puisqu'elle exprime la quantité d'électricité dans l'unité de longueur du circuit avec un court conducteur, et un seul élément ou une batterie composée, la quantité du courant d'électricité est à peu près la même dans les deux cas.

53. Revenons à l'expérience avec un seul élément, et,

au lieu d'augmenter l'intensité de l'appareil, comme dans le dernier exemple, augmentons la longueur du conducteur : la secousse au commencement du courant sera affaiblie, comme nous l'avons vu, et celle à la fin sera augmentée. La diminution dans la secousse au commencement du courant n'a rien qui doive surprendre, puisque, comme on peut le supposer, l'accroissement de résistance au mouvement de l'électricité doit nuire à la rapidité du développement du courant; mais le courant secondaire, produit dans le conducteur primaire lui-même, est la principale cause qui affaiblit l'intensité de la commotion, et son effet, comme on le verra ci-après, peut se déduire des principes adoptés.

54. L'augmentation d'intensité de la secousse au moment de la rupture du circuit dans le cas d'un long conducteur s'explique à l'aide du principe mentionné plus haut, que la vitesse de diminution du courant est à peu près la même dans le cas d'un long conducteur que dans celui d'un court. La quantité d'électricité dans l'unité de longueur du conducteur s'obtient en faisant $n = 1$ dans la formule, qui devient $\frac{A}{r + R}$; elle diminue à mesure que R augmente. Si r est petit devant R, la formule devient $\frac{A}{R}$. Dans ce cas, la quantité d'électricité dans l'unité de longueur du conducteur est en raison inverse de sa longueur, et la quantité totale d'électricité dans tout le conducteur est indépendante de sa longueur. Dans aucune des expériences rapportées dans ce Mémoire, r n'est négligeable devant R; mais alors la quantité totale d'électricité dans un long conducteur est plus grande que dans un court.

55. Pour simplifier les conditions de l'induction à la fin du courant, supposons que la quantité d'électricité dans l'unité de longueur du conducteur soit en raison inverse de la longueur totale; en d'autres termes, que la quantité totale d'électricité soit la même dans un long conducteur que dans

un court; supposons aussi la longueur de la spirale inductrice augmentée, pour fixer les idées, de 1 à 20 spires. Si la vitesse de diminution de la section du courant est la même dans un long conducteur que dans un court, la secousse reçue en soumettant l'hélice à l'action d'une seule spire de la longue spirale sera presque de même intensité que dans le cas où elle sera soumise à l'action de la seule spire du court conducteur. La quantité d'induction montrée par le galvanomètre devrait être vingt fois moindre, et cette conséquence est d'accord avec l'expérience. Si, au lieu de placer l'hélice sur une spire du long conducteur, on la soumet simultanément à l'influence des vingt spires, l'intensité du choc devra devenir vingt fois plus grande, à cause de cette simultanéité. Si nous remarquons en outre que la quantité totale d'électricité est plus grande dans un long conducteur que dans un court, nous aurons plus de raisons pour concevoir l'accroissement dans la commotion quand on augmente la longueur du conducteur de la batterie.

56. La conséquence qui vient d'être indiquée par rapport au changement de la quantité d'induction, mais non de l'intensité du choc d'une seule spire, lorsque l'on augmente la longueur totale du conducteur, se vérifie en répétant l'expérience décrite (7). Nous avons vu que l'intensité de la commotion restait la même lorsque l'on intercalait dans le circuit la spirale n° 2; si l'on employait le galvanomètre, la quantité totale d'induction indiquée par la déviation de l'aiguille diminuait presque en raison de la longueur augmentée du circuit.

57. La même explication convient au cas de l'induction sur lui-même d'un long conducteur, soit rectiligne, soit enroulé en spirale. L'induction, dans ce cas, a lieu dans le conducteur du courant primaire lui-même, et le courant secondaire est engendré par les actions réunies de chaque unité de longueur du courant primaire. Supposons, pour fixer les idées, que la longueur du conducteur, en premier lieu d'un pied, soit ensuite portée à vingt pieds. Dans le premier cas,

le court conducteur transmettant une plus grande quantité d'électricité, le courant secondaire produit sera de quantité considérable et déviera le galvanomètre, mais il sera de faible intensité. Dans le second cas, chacun des vingt pieds du courant primaire produira séparément une action inductive de même intensité que celle du court conducteur; et comme elles sont toutes exercées en même temps sur le même conducteur, le courant secondaire aura vingt fois plus d'intensité que dans le premier cas.

58. Il est bon d'ajouter que le courant produit par l'induction d'une partie d'un long conducteur de diamètre uniforme doit exister avec la même intensité dans chaque autre partie du conducteur : les actions des diverses unités de longueur du courant primaire doivent se renforcer les unes les autres et produire sur leur propre conducteur le même effet que s'ils étaient en spirale, agissant sur une hélice.

59. Considérons maintenant l'action du courant secondaire dans la production d'un courant du troisième ordre. Nous pouvons supposer que le courant secondaire consiste dans une perturbation momentanée de l'électricité naturelle du métal, et il est, comme nous l'avons vu, de même nature, qu'il soit inverse ou direct. Sa durée, quoique très-courte, a une certaine valeur, et il faut supposer que le courant augmente par degrés jusqu'à ce qu'il ait atteint son développement *maximum*, et qu'ensuite il diminue de même jusqu'à son anéantissement : la vitesse de son développement dépendra, comme pour le courant primaire, de l'intensité de l'action par laquelle il est engendré, et peut-être aussi de la résistance du conducteur; tandis que celle de sa diminution doit être à fort peu près une quantité constante et n'être pas affectée par le changement de ces conditions. Si, par exemple, nous supposons l'induction qui produit le courant secondaire suffisamment intense, comme ceci a lieu pour le courant primaire fourni par une batterie composée, la vitesse de son développe-

ient devra excéder celle de sa diminution. C'est le cas des inductions qui produisent des courants de divers ordres, capables de donner des secousses et de magnétiser des aiguilles d'acier. Les courants secondaires qui en résultent ont toujours d'intensité considérable, et la courbe de leur intensité peut être supposée de la forme, *fig.* 14, dans laquelle la partie constante est nulle, et où la courbure de AB est plus grande que celle de BC. D'après d'autres considérations qui seront rapportées plus tard, la partie BC peut décroître moins rapidement, ce qui tend à diminuer l'intensité de l'induction à la fin du courant secondaire.

6o. A l'inspection de la courbe, on voit que l'effet produit sur un troisième conducteur, effet qui constitue le courant tertiaire, n'est pas de même nature que celui qui produit le courant secondaire. Il consiste en deux courants instantanés, produits, l'un par l'induction de AB, l'autre par celle de BC, de directions opposées, de quantités égales, mais d'intensités différentes. La quantité totale d'induction dans chacune des deux directions sera représentée par l'ordonnée B*b*, et leurs actions sur le galvanomètre se neutraliseront presque l'une l'autre : la neutralisation ne sera pas complète, car, quoiqu'elles soient de quantités égales, elles n'ont pas lieu absolument au même instant. L'aiguille de l'instrument devra être un peu affectée : elle sera chassée dans une direction, à droite par exemple, par l'induction de AB; mais avant qu'elle puisse obéir à cette impulsion, elle sera arrêtée et tournée dans l'autre direction par l'action de BC. Cette conséquence est exactement d'accord avec l'observation : l'aiguille part de l'état de repos avec une vitesse qui en apparence lui ferait décrire un grand arc; mais, avant qu'elle ait parcouru un demi-degré au plus, elle s'arrête brusquement et tourne dans l'autre direction. Comme l'aiguille est affectée en premier lieu par l'action de AB, elle indique un courant de direction opposée à celle du secondaire.

61. Quoique les deux inductions du courant secondaire se neutralisent presque l'une l'autre pour ce qui concerne les indications du galvanomètre, il n'en est plus de même pour les secousses ou pour la magnétisation d'aiguilles d'acier. Ces effets peuvent être considérés comme le résultat de l'action seule de AB, l'induction de BC étant trop faible en intensité pour produire un courant tertiaire capable de traverser le corps, ou de vaincre la force coercitive d'une aiguille trempée. De sorte qu'on peut considérer l'excitation tertiaire comme un seul courant produit par l'action de AB : par suite le courant tertiaire sera opposé en direction au secondaire. Pour une raison semblable, un courant de troisième ordre engendrera un courant de quatrième ordre de direction opposée à la sienne. On a ainsi une explication simple des changements alternatifs de direction des courants de divers ordres, indiqués dans ce Mémoire et le précédent.

62. On peut, en partant des mêmes principes, se rendre aisément compte de l'action d'une plaque interposée, lorsque la secousse est neutralisée, sans que la déviation galvanométrique soit affectée. Un courant secondaire est produit dans la plaque et réagit sur le courant secondaire de l'hélice : mais il ne peut altérer la quantité totale de ce courant; car si, par exemple, une certaine quantité de courant induit est enlevée à l'hélice, au commencement de l'induction, quand le courant de la plaque est croissant, une quantité égale lui est ajoutée à la fin quand le même courant est décroissant. Pour rendre ceci plus clair, supposons que l'action inductive du courant interposé soit représentée par la courbe, *fig.* 14; l'induction représentée par AB réagira sur le courant de l'hélice et diminuera sa quantité d'une valeur représentée par B*b*. L'induction représentée par BC agira un moment après sur le même courant et augmentera sa quantité d'une égale valeur. Puisque les deux actions ont lieu dans un intervalle de temps très-

art, la déviation de l'aiguille ne sera pas altérée, et con-
quemment l'interposition de la plaque n'exercera pas
nfluence perceptible pour ce qui concerne l'action sur le
lvanomètre.

63. Mais l'action de la plaque sur la secousse du courant
duit, ou sur la magnétisation d'une aiguille trempée,
urra être très-sensible : car, quoique la quantité d'in-
ction dans l'hélice ne soit pas changée, son intensité
urra être assez réduite par l'action du courant interposé,
ur être au-dessous du degré qui la rend capable de tra-
rser le corps ou de surmonter la force coercitive de l'ai-
ille. Reportons-nous, par exemple, à l'induction qui a
u à la fin du courant de la batterie : il se développe alors
ns l'hélice et dans la plaque un courant momentané dont
direction est + ou la même que celle du courant pri-
aire. Le courant de la plaque devra réagir sur l'hélice, et
ndra à produire dans celle-ci deux inductions qui, comme
ant, pourront être représentées par les parties AB et BC
la courbe, *fig.* 14. La première sera intense, de direc-
on —, et devra par conséquent tendre à neutraliser l'ac-
on intense du courant primaire de l'hélice; la deuxième
vra ajouter à l'hélice une égale quantité de courant in-
it, mais de trop faible intensité. Le courant résultant
ns l'hélice ne pourra pas alors traverser le corps : une
mmotion très-faible ou nulle sera ressentie, et l'action
'aiblissante de la plaque aura lieu.

64. Quand la plaque métallique est placée entre les
nducteurs de deuxième et troisième ordre, ou entre ceux
troisième et quatrième, l'action est un peu différente,
oique le principe général soit le même. Supposons, par
emple, la plaque interposée entre le deuxième et le
oisième conducteur; l'hélice ou le troisième conduc-
ur sera alors soumise à l'action de quatre inductions,
ux du courant secondaire et deux du courant de la pla-
e. Leurs directions et leurs caractères sont comme il

suit, dans l'hypothèse où le courant secondaire est +:

Courant secondaire commençant, intense et..... —
Courant secondaire finissant, faible..... +
Courant interposé commençant, intense et..... +
Courant interposé finissant, faible..... —

65. Si les actions sur le troisième conducteur de la première et de la troisième des inductions sont égales en intensité et en quantité, elles devront se neutraliser l'une l'autre, et la même chose devra avoir lieu pour l'action de la deuxième et de la quatrième : dans ce cas on n'aura aucune secousse, et l'aiguille du galvanomètre ne sera pas déviée. Si ces inductions ne sont pas précisément égales, une neutralisation aura lieu : l'intensité de la commotion sera seulement affaiblie ; l'aiguille du galvanomètre sera peut-être aussi un peu affectée.

66. Nous pouvons examiner maintenant l'effet des courants induits dans le conducteur même du courant primaire. Ce sont de vrais courants secondaires dont l'action est analogue à ceux des plaques interposées. Le courant induit au commencement du courant primaire dans le cas d'un long conducteur et d'un seul élément peut (par rapport à son action sur l'hélice) être représenté par la courbe, *fig.* 14. L'induction correspondante à la première partie AB sera intense, opposée à celle du courant primaire, et tendra à la neutraliser : la secousse du courant induit sera dans ce cas très-faible ou nulle. L'induction correspondante à la partie BD restitue à l'hélice la quantité d'électricité neutralisée par AB (seulement son intensité est moindre) : la déviation du galvanomètre doit donc être aussi forte que si ce courant induit dans le conducteur primaire n'existait pas. Ces conséquences s'accordent parfaitement avec les expériences indiquées (13). Lorsque les extrémités de la spirale interposée

étaient réunies de manière à neutraliser le courant induit dans le long conducteur, la secousse au commencement du courant primaire était presque aussi forte qu'avec un court conducteur, pendant que la déviation du galvanomètre n'était pas affectée en joignant les extrémités de cette même spirale.

67. Tout changement dans l'appareil qui tend à augmenter l'induction du courant primaire devrait, à ce qu'il semble, accroître en même proportion le courant secondaire qui l'accompagne, et la neutralisation dont il vient d'être parlé devrait avoir lieu dans tous les cas. Mais il faut rappeler que si un courant plus puissant est développé subitement dans un conducteur d'épaisseur déterminée, le courant contraire n'aura pas assez d'espace pour son développement et neutralisera l'induction du courant primaire moins complétement qu'auparavant. Mais on peut donner une autre raison meilleure peut-être que la précédente, en remarquant que lorsqu'on augmente le nombre des éléments de la batterie, quoique le courant primaire se développe avec plus de rapidité, le courant secondaire éprouve de la part des divers éléments une plus grande résistance et doit produire un effet moindre. La diminution de longueur du courant primaire doit diminuer l'intensité du courant secondaire : celui-ci doit alors éprouver plus de résistance en traversant l'acide d'un seul élément, et son effet doit être ainsi diminué.

68. L'action du courant secondaire développé dans une longue spirale à la fin du courant primaire, devrait aussi produire le même affaiblissement que le courant d'une plaque interposée; mais, en y réfléchissant, on reconnaît que son action sous ce point de vue doit être plus faible que celle du courant induit au commencement. Ce dernier est produit au moment où le contact a lieu, et il se propage dans un circuit continu de matière conductrice, tandis que l'autre est développé à la rupture du circuit et devient

comparativement faible, étant obligé de traverser une couche d'air dilaté : l'induction correspondante sur l'hélice est faible. Il est aisé d'ailleurs de concevoir pourquoi ce courant est capable de donner de fortes secousses quand les extrémités d'un long fil qui transmet le courant primaire sont saisies au moment de la rupture du circuit, en remarquant que le corps forme alors avec le conducteur un circuit fermé qui permet une libre circulation au courant induit.

69. La forme particulière donnée au commencement et à la fin des courbes, *fig.* 11, 12, etc., a pour but de représenter les variations que l'on peut supposer avoir lieu dans l'accroissement et le développement de la quantité du courant, même dans le cas où le contact est établi ou rompu à l'aide du mercure. On peut supposer, d'après l'existence de phénomènes analogues dans le magnétisme, la chaleur, etc., que le courant se développe avec plus de rapidité au moment où il commence que quand il approche de l'état qu'on peut appeler état de saturation, ou que lorsqu'il est sur le point d'atteindre la limite de conductibilité du métal. De même, le courant s'affaiblit plus rapidement au premier moment qu'après qu'il a perdu un peu de son intensité. Ces variations sont indiquées par l'élévation rapide de la courbe A en *g*, et l'accroissement plus graduel des ordonnées de *h* en B; par la diminution des ordonnées, plus rapide entre C et *l*, et plus lente vers l'extrémité de la courbe.

70. Des considérations plus délicates, relatives à la forme de la courbe, nous permettent de concevoir comment la durée de la fin du courant secondaire peut surpasser, ainsi que nous l'avons supposé, celle du retour à l'état d'équilibre de l'électricité du conducteur dans lequel le courant secondaire est développé. Si le courant primaire croît de quantités égales en temps égaux, comme dans le cas où la batterie descend uniformément dans l'acide, la partie AB

e la courbe sera presque une ligne droite, et le courant econdaire résultant après le premier instant sera constant n quantité durant tout le temps représenté par Ac : mais i le courant primaire est supposé se développer conformé- ıent aux vues données dans le dernier paragraphe, la uantité du courant secondaire devra commencer à décroître vant la fin de l'induction, aussitôt que les accroissements u courant primaire commenceront à diminuer : la durée ɔtale de l'affaiblissement du courant secondaire sera ainsi rolongée, la longueur de *b*C sera augmentée, le décrois- ɜment de BC sera plus graduel, et l'intensité de l'induction la fin du courant secondaire sera diminuée.

71. Outre ces considérations, on peut en mentionner 'autres plus évidentes qui paraissent affecter quelques oints particuliers de la courbe. Il est bon peut-être de aire une petite correction au point A, *fig.* 11, 12, etc., n remarquant que le premier contact de l'extrémité du onducteur avec la surface du mercure a lieu par un point u métal, de sorte que la rapidité du développement doit tre un peu moins grande au premier moment qu'après que e contact est devenu plus étendu : en d'autres termes, la ourbe doit s'écarter un peu moins rapidement de l'axe au oint A. Le docteur Page a trouvé (1) que la secousse est ugmentée en répandant une couche d'huile sur la surface u mercure : dans ce cas le courant se termine plus subite- nent, parce que la combustion du métal est arrêtée par 'huile et que l'extrémité du conducteur est retirée dans un nilieu non conducteur.

72. La durée de l'affaiblissement du courant, quand le ircuit est rompu par le moyen du mercure, est très-petite t n'excède pas probablement la dix-millième partie d'une econde ; mais elle est appréciable, car l'étincelle, vue dans un miroir, faisant six cents tours par seconde, présente

(1) *Journal* de Silliman

l'apparence d'une bande lumineuse de longueur considérable, et les variations de la durée de la fin du courant dans diverses circonstances pourraient être dévoilées par ce moyen.

NOTICE

SUR LES PILES A COURANT CONSTANT;

Par M. Edmond BECQUEREL.

A l'époque actuelle, où l'on cherche de toutes parts à appliquer les sciences physiques et chimiques, et par conséquent l'action des forces électriques, aux arts industriels, je pense qu'il peut être utile de présenter succinctement l'exposé de toutes les recherches qui ont été faites pour obtenir des piles dont l'action soit constante pendant un certain temps.

La pile telle que l'a décrite Volta, les piles à auges, celles à la Wollaston, et en général les piles dans lesquelles les deux métaux qui composent le couple plongent dans le même liquide, donnent des résultats très-variables, même dans un court espace de temps.

L'effet *maximum* se produit dans les premières minutes, mais bientôt il diminue rapidement, de sorte qu'en laissant continuer l'action, il est au bout d'un certain temps incomparablement plus faible qu'au commencement, à moins qu'on ne charge la pile qu'avec des liquides peu conducteurs; alors la diminution de l'intensité est moins rapide, mais aussi le courant est beaucoup plus faible. Cet effet qui se produit constamment avec des piles ordinaires, et que l'on peut observer soit à l'aide du galvanomètre, soit à l'aide du voltaïmètre, a fait sentir la nécessité de former des piles à courant constant, dont l'usage est indispensable

dans les arts quand on veut connaître la quantité d'effets produits dans un temps donné.

C'est mon père qui a donné le premier les principes sur lesquels est fondée la construction de ces piles, et qui a formé les premières piles de ce genre.

Avant de donner leur description, il faut voir ce qui se produit dans le passage d'un courant électrique à travers un liquide conducteur.

Si deux lames métalliques de métaux inoxydables plongent dans un liquide conducteur, en faisant passer par ces deux lames un courant électrique pendant quelque temps seulement, interrompant ensuite la communication, et les mettant en relation avec les deux extrémités d'un galvanomètre, cet instrument signalera à l'instant l'existence d'un courant électrique dirigé en sens inverse du précédent. Ce courant est le courant secondaire observé par Ritter, et qui lui a servi dans la construction de ses piles secondaires. Mon père a donné l'explication très-simple de ce phénomène, connu maintenant sous le nom de polarisation des électrodes. Voici ce qui a lieu: quand le courant primitif traverse le liquide conducteur, des éléments acides sont transportés au pôle positif, et des éléments alcalins au pôle négatif; alors, en interrompant la communication entre les lames décomposantes (ou électrodes) et la pile, les deux lames se comportent vis-à-vis l'une de l'autre comme deux lames que l'on aurait plongées, l'une dans une faible dissolution alcaline, l'autre dans une faible dissolution acide, c'est-à-dire qu'en les mettant en relation avec un multiplicateur, il y aura production d'un courant électrique dû à la réaction des molécules acides, ou se comportant comme telles sur les molécules alcalines par l'intermédiaire du liquide; ce courant sera par conséquent dirigé en sens inverse du courant initial. Cet effet se manifeste toujours lorsqu'un courant traverse un liquide conducteur quelconque au moyen de deux lames métalliques.

Cette polarisation des électrodes a donc lieu dans toutes les piles, lorsque les lames qui composent chaque couple plongent dans un même liquide et dans une même auge; en effet, une fois la communication établie entre les deux pôles au moyen d'un fil métallique, le courant traverse aussi bien la pile que le fil conducteur; alors chaque lame de cuivre (en supposant que les couples soient cuivre-zinc) retient à sa surface des éléments alcalins tels que de l'hydrogène provenant de la décomposition de l'eau et des bases provenant de la décomposition des matières salines dissoutes dans l'eau, et chaque lame de zinc retient à sa surface des éléments acides; par suite il doit en résulter un courant secondaire, qui, de même que celui de Ritter, est d'autant plus énergique que la pile fonctionne depuis plus longtemps. Le courant secondaire dirigé en sens inverse de celui de la pile atténue donc de plus en plus celui-ci et finit même par l'anéantir presque complétement, surtout si les surfaces ne sont pas très-nettes.

Si donc on pouvait enlever continuellement les éléments alcalins et acides qui se déposent sur les lames, on anéantirait le courant secondaire, et la pile aurait une intensité constante, en tant cependant que les surfaces des lames resteraient à peu près aussi nettes et que l'action du liquide sur le zinc serait à peu près la même.

C'est ce que mon père a réalisé dans un Mémoire imprimé il y a treize ans, dans les *Annales de Physique et de Chimie* (tome XXXXI, pages 1 et 19), en analysant l'action individuelle de chaque liquide sur le cuivre et le zinc ou sur les métaux composant les couples des piles; avant cette époque la science électro-chimique n'était pas assez avancée pour se livrer à des recherches de ce genre.

Il se servit de l'appareil suivant :

AA′ (*Pl. VII, fig.* 1) est un vase en verre dans l'intérieur duquel sont deux diaphragmes en baudruche DD′, CC′, afin de former trois cases; ces diaphragmes sont appliqués sur les parois de la boîte avec tout le soin possible, afin que la com-

munication d'une case à l'autre n'ait lieu que par l'intermédiaire de la baudruche qui n'est là que pour retarder le mélange ou la combinaison des liquides contenus dans chacune des cases. A la rigueur on peut ne mettre qu'un diaphragme, mais l'expérience prouve que les deux sont nécessaires quand elle doit durer longtemps. Le fond de cette boîte est ouvert seulement en *o* dans la partie située entre les deux diaphragmes, afin qu'en plongeant l'appareil dans un vase MM′ qui renferme un liquide conducteur, les liquides contenus dans chacune des cases extrêmes ne se mêlent que difficilement.

On peut, si l'on veut, fermer cette ouverture et mettre dans la case du milieu un des liquides contenus dans l'une des deux autres.

On plonge alors une lame de zinc et une lame de cuivre, chacune dans une des cases extrêmes de AA′ que l'on fait communiquer avec les extrémités d'un multiplicateur.

Si les trois cases ne renferment que de l'eau avec $\frac{1}{50}$ d'acide sulfurique, alors on a une déviation dans le galvanomètre qui va en diminuant comme lorsqu'on fait usage d'un couple ordinaire. Quand le courant est bien diminué, en retirant les lames et les essuyant, on retrouve la même déviation initiale et la même diminution à mesure que l'action continue; mais vient-on à ajouter quelques gouttes d'acide nitrique du côté cuivre, le courant change d'intensité, mais il y a toujours diminution à mesure que l'appareil fonctionne. En substituant du nitrate de cuivre à l'acide nitrique, les résultats sont les mêmes. Il a beaucoup varié ses expériences, et, à l'aide de cet appareil, il est parvenu aux conclusions suivantes :

Le maximum d'intensité s'obtient sensiblement quand le cuivre plonge dans une dissolution de nitrate de cuivre et le zinc dans une solution de sulfate de zinc; mais il y a aussi une diminution d'intensité avec le temps, un peu moins rapide cependant qu'avec un couple ordinaire.

Si l'on met de l'acide nitrique étendu dans la case zinc, un peu d'eau et d'acide sulfurique dans la case cuivre, et que dans la caisse AA′ on n'emploie qu'un diaphragme, ou que l'on rapproche les deux diaphragmes de telle sorte que l'acide nitrique de la case zinc puisse passer lentement dans la case cuivre afin d'augmenter la conductibilité, alors on peut, au lieu de rendre les intensités décroissantes, les rendre croissantes pendant la première demi-heure; cela dépend de la quantité d'acide nitrique versée dans la case zinc : si l'on en met avec précaution, on peut arriver à obtenir un courant constant pendant une demi-heure ou une heure. Cette disposition du couple réalise donc pendant un certain temps le résultat que nous avons annoncé, c'est-à-dire détruit le courant secondaire, car l'acide nitrique qui se trouve dans la case zinc s'empare constamment du cuivre de la solution qui, après avoir traversé les diaphragmes, se dépose sur le zinc.

Ainsi ces expériences montrent la possibilité d'obtenir un courant constant en détruisant le courant secondaire, c'est-à-dire en faisant plonger les lames dans des liquides différents. Cette condition est indispensable pour la solution du problème des piles à courant constant. Plus tard mon père a résolu complétement la question (tomes III et V 1re partie, Becquerel, *Traité d'électricité et de magnétisme*), à l'aide de l'appareil si curieux nommé chaîne simple à oxygène, parce que dans cet appareil c'est uniquement la réaction de l'acide nitrique sur la potasse qui fournit l'électricité, et que la réaction, due à un seul petit couple, décompose l'eau de l'acide et de l'alcali, de telle sorte que l'oxygène se dégage abondamment au pôle.

Cet appareil donne un courant constant pendant vingt-quatre heures et même davantage. Il se compose de deux petits bocaux en verre dont l'un renferme une solution de potasse caustique très-concentrée, et l'autre de l'acide nitrique concentré. Ces deux bocaux communiquent ensemble

au moyen d'un tube de verre recourbé, rempli d'argile (kaolin exempt de carbonate de chaux), humecté d'une solution de sel marin. Dans le bocal où se trouve l'alcali plonge une lame d'or ou de platine, et dans l'autre une lame de platine; si l'on met en communication ces deux lames au moyen de fils d'or ou de platine, on a un courant assez énergique qui provient de la réaction de l'acide sur l'eau, le sel marin et la potasse; la lame plongée dans l'alcali prend l'électricité négative, et la lame plongée dans l'acide prend l'électricité positive.

La meilleure disposition à donner à cet appareil est de terminer les deux extrémités du tube communicateur rempli d'argile par deux tubes de platine qui servent de lames ou de pôles (1).

La permanence d'intensité du courant électrique pendant vingt-quatre heures et même quarante-huit heures, permanence dont on peut s'assurer à l'aide d'un galvanomètre peu sensible, annonce un fait assez important, c'est que dans cet appareil les surfaces des lames de platine ne se polarisent pas. Cet effet est facile à comprendre dans cette circonstance : les éléments acides qui produiraient le courant secondaire venant à se déposer sur la lame de platine plongée dans la potasse, c'est-à-dire au pôle positif, sont enlevés continuellement par cet alcali; de même les éléments alcalins transportés sur l'autre lame sont continuellement enlevés par l'acide nitrique.

---

(1) Quand on veut disposer cet appareil pour observer le dégagement de gaz provenant de la décomposition de l'eau, on met la potasse dans un tube de verre *ab* (fig. 2), ayant au fond du kaolin humecté à l'aide d'eau salée, jusqu'à 1 cent. de *a* seulement. Un tampon retient ce kaolin, de sorte qu'il ne peut tomber dans le vase plein d'acide nitrique: alors la potasse ne communique avec l'acide que par l'intermédiaire de cet argile. Au moment où la communication entre les lames de platine est établie, l'oxygène se dégage au pôle positif dans la potasse, et l'hydrogène se porte au pôle négatif dans l'acide et désoxyde une partie de l'acide nitrique.

Le courant ne diminue d'intensité que lorsque le nitrate de potasse, produit de la réaction de l'acide sur la potasse, cristallise dans le tube au bout d'un jour ou deux ; alors, en changeant l'argile, on retrouve la même déviation.

On voit, d'après les principes posés par mon père, que pour former une pile à courant constant, il faut que les métaux qui composent chaque couple plongent dans des liquides différents, séparés par une membrane ou un diaphragme capable de laisser traverser peu à peu les liquides, cette disposition étant la seule par laquelle le courant secondaire produit par la polarisation des électrodes puisse être détruit. Ce dernier appareil résout complétement la question sous le point de vue scientifique, mais pour les applications le courant électrique n'aurait pas une énergie suffisante, car alors il faudrait de plus grands éléments et en plus grand nombre, ce qui serait assez coûteux.

Mon père, dans ses travaux électro-chimiques, a employé comme appareils électro-chimiques des tubes en U, ayant de l'argile humectée à la partie inférieure, argile qui empêche le mélange des dissolutions placées dans les deux branches. Des lames métalliques plongent dans ces deux branches, et, suivant les réactions qu'il veut obtenir, les métaux et les liquides sont différents. En mettant en relation les deux lames entre elles, on a un courant électrique provenant de la différence de réaction des deux liquides l'un sur l'autre et des liquides sur les lames ; mais comme l'argile humide et contenue par des tampons de coton oppose un grand obstacle au mélange des dissolutions, il s'ensuit que ces appareils, qui forment pile, ont une intensité d'action constante pendant un temps considérable : cette condition n'est remplie que quand l'action est très-lente.

M. Daniell, d'après les principes exposés précédemment, a construit une pile dont nous allons donner la description (*Transact. philos.*, 1836), et qui est à présent généralement employée.

Voici sommairement comment il dispose le couple :

AB (*fig.* 3) est un cylindre de cuivre ouvert à sa partie ıpérieure et dont le fond est percé en *ab*. Au fond est une ortion de cylindre plus grande que l'ouverture, sur lauelle s'attache fortement une portion d'intestin de bœuf, ui s'attache aussi en EF correspondant à *ab*. Cette poron d'intestin forme un cylindre creux dans lequel plonge n morceau de zinc amalgamé *cd*. Alors si l'on emploie ifférents couples, le cuivre AB qui forme une des lames u couple est mis en rapport avec le zinc d'un autre ouple, et aussi le zinc *cd* avec le cuivre d'un autre couple. . l'ouverture *ab* se trouve un tube en siphon *efg* recourbé n *g*, de telle sorte que si l'on ajoute du liquide en EF dans : cylindre formé par l'intestin, il en coulera autant par *g*, i l'intérieur du sac membraneux est déjà plein.

M. Daniell emploie pour liquides de l'eau acidulée ar l'acide sulfurique pour la case zinc, et une solution ıturée de sulfate de cuivre pour l'extérieur du sac membraneux. Seulement l'eau acidulée tombe goutte à goutte ans la case zinc, et à mesure qu'elle tombe elle chasse ar le siphon l'eau acidulée chargée de sulfate de zinc ui est plus pesante et qui diminuerait l'action de la pile. es morceaux de sulfate de cuivre, placés dans la solution e sulfate, saturent cette solution à mesure que le sulfate issous se décompose. Les couples de M. Daniell avaient pouces de hauteur sur 3 $\frac{1}{2}$ pouces de diamètre. Avec dix de es couples il obtenait 16 pouces cubes de gaz par quart heure ; de plus l'intensité de l'action chimique restait senblement la même pendant plusieurs heures.

Un des avantages de cette pile, comme d'autres analoues, est que la pile ne fonctionne pas quand la communiıtion est interrompue ; mais à peine est-elle établie, le ılfate est décomposé, l'acide sulfurique se porte sur le zinc t concourt à produire le courant électrique, tandis que hydrogène de l'eau décomposée réduit le cuivre du sulfate

sur la surface du cuivre du cylindre. Le courant électrique provient donc de trois actions différentes : 1° de l'action des deux dissolutions l'une sur l'autre par l'intermédiaire de la membrane ; 2° de l'action de l'eau acidulée sur le zinc ; 3° de l'action de l'acide sulfurique du sulfate sur ce même métal.

Telle est en résumé la pile de M. Daniell. Nous allons indiquer plus loin d'autres piles d'un usage plus facile que celle-ci, et dont l'action est constante pendant un temps plus long.

Avant d'entrer dans les détails de leur construction, il est nécessaire de parler de l'emploi du zinc amalgamé.

Une plaque de zinc amalgamé possède la propriété de ne pas être attaquée par l'eau faiblement acidulée par l'acide sulfurique dans laquelle elle est plongée ; mais vient-on à la toucher avec un fil de cuivre ou de platine, l'action devient très-vive, le zinc se dissout et l'hydrogène se dégage sur le fil qui est le pôle négatif du couple voltaïque.

Cette singulière propriété a été signalée pour la première fois par H. Davy, en 1826 ; il a posé en principe que le zinc amalgamé est positif relativement à du zinc pur, c'est-à-dire qu'il est plus oxydable que ce dernier. Davy s'est borné à annoncer le fait sans en tirer aucune conséquence ; il paraît que c'est M. Kempt, d'Edimbourg, qui le premier a fait usage du zinc amalgamé dans la construction régulière des appareils voltaïques (*Journal phil. de Jameson*, décembre 1826).

Si dans une solution composée de 1 partie d'acide sulfurique et de 30 d'eau, on plonge trois lames, l'une de zinc pur, l'autre de zinc ordinaire, et la troisième de zinc amalgamé, la première n'éprouve qu'une très-faible action, la seconde décompose l'eau énergiquement, et la troisième reste brillante.

On est porté à croire que dans le second cas toute l'action provient de petits couples voltaïques composés de zinc

et de métaux étrangers; en effet, lorsque l'acide agit sur le zinc ordinaire, des portions de mine de plomb, de cadmium et d'autres métaux sont mises en liberté, et constituent avec le zinc des paires de couples voltaïques très-petits, mais très-actifs. Il résulte de cette multiplicité d'actions qu'il y a beaucoup de zinc détruit et que l'hydrogène se dégage en apparence sur la surface du zinc, tandis que ce dégagement n'a lieu réellement qu'à la surface des particules métalliques étrangères; ces particules servent en même temps à décharger l'électricité du zinc ou à l'y ramener, en diminuant le pouvoir qu'a ce métal de produire un courant électrique: l'intensité du courant électrique qui passe par le circuit métallique entier doit donc être très-diminuée.

Bien que le zinc amalgamé, quoique impur, ne décompose pas l'eau légèrement acidulée, il conserve une telle affinité pour l'oxygène, que le simple contact avec un métal suffit pour faire naître une vive effervescence. M. Faraday pense que dans cette circonstance le mercure agit en amenant la surface dans une condition uniforme qui détruit l'action de ces petits couples voltaïques; toute la portion du zinc étant recouverte, on conçoit qu'une partie ne puisse agir comme déchargeur vis-à-vis d'une autre.

Trois conséquences importantes résultent de l'amalgamation du zinc.

1°. Un courant électrique plus énergique qu'avec du zinc ordinaire ou du zinc pur;

2°. L'équivalent d'électricité s'obtient par l'oxydation d'une certaine quantité de zinc;

3°. Une pile construite avec du zinc amalgamé et chargée d'eau faiblement acidulée, ou d'autre liquide conducteur, n'est pas attaquée, du moins le zinc, tant que les électrodes ne sont pas unis.

Lors de l'action des acides sur le zinc amalgamé, le zinc seul est attaqué; le mercure n'étant altéré en rien, la dépense en métal est donc par cela moindre qu'avec du zinc

ordinaire, puisqu'une même quantité de zinc amalgamé produit un plus fort courant qu'une même quantité de zinc ordinaire.

Il est donc indispensable dans des piles à courant constant d'employer du zinc amalgamé au lieu de zinc ordinaire. Les surfaces du reste sont toujours très-nettes.

On a construit différentes piles en prenant pour métal négatif du cuivre, du platine, du cuivre platiné, etc., en ayant soin, bien entendu, de séparer les deux métaux du couple à l'aide d'un diaphragme, condition indispensable à la constance du courant; mais il est moins coûteux d'employer du cuivre. Ce métal ne s'altère pour ainsi dire pas : loin de là, il augmente plutôt de poids, car si l'on charge la case cuivre avec du sulfate de ce métal, le cuivre du sulfate se réduit sur la lame de cuivre qui est le pôle négatif, et à la fin de l'expérience on l'enlève facilement.

La construction des piles à courant constant a subi plusieurs modifications et dans la nature, et dans la forme des membranes employées. Mon père a fait usage d'un grand nombre de diaphragmes ; je vais donner un aperçu des résultats obtenus, en ce qui touche la constance du courant.

Au lieu de baudruche et d'intestin de bœuf, on peut employer une vessie, et mettre simplement, comme on a fait ici à Paris, un cylindre creux de cuivre *ab* (*fig.* 4), lesté avec du sable fin, afin qu'il plonge dans le liquide, dans une poche formée par une vessie. Le tout est plongé dans un vase de verre MN et entouré d'un cylindre creux de zinc, ou plutôt de zinc amalgamé; la poche en vessie est remplie d'eau saturée de sulfate de cuivre, et des morceaux de sulfate sont placés à la partie supérieure du cylindre en *a* ; ils baignent dans la solution et la saturent continuellement à mesure que le sulfate est décomposé. Dans la case zinc, c'est-à-dire dans le vase en verre, on met de l'eau salée saturée.

On trouve plus d'avantage à employer l'eau salée que

'eau acidulée ; l'action est un peu plus lente, mais aussi lle est constante pendant plus longtemps.

Cependant la vessie, de même que la baudruche et l'in-estin de bœuf, ne sont pas les meilleurs diaphragmes, car s liquides au bout de peu d'heures commencent à se mé-nger et l'intensité du courant diminue. En général les eilleurs diaphragmes sont ceux qui, tout en étant très-erméables à l'action du courant électrique, ne laissent averser que très-peu les liquides qui baignent ses sur-ces. Les membranes qui ont une force d'endosmose très-rte ne sont pas les plus convenables. De très-bons dia-hragmes pour donner un courant d'une intensité constante endant quelque temps, une journée par exemple, seraient es cylindres de cuir de 1 ligne à 2 lignes d'épaisseur et ême d'une plus grande épaisseur. Plus l'épaisseur est con-idérable, plus l'intensité du courant est diminuée, mais ussi plus elle est constante. On se sert de cuir de bœuf nné mais non préparé avec des graisses ; une fois façon-és en cylindre, avant de les employer dans la pile, il faut s faire bouillir dans de l'eau salée et ne pas les laisser sé-her avant d'en faire usage.

On peut employer avec égal succès pour diaphragmes des ases en porcelaine dégourdie, des cylindres creux en lâtre, et des sacs en toile à voile.

Les premiers donnent une action très-énergique, mais le nélange des dissolutions se fait trop vite pour le but que ous nous proposons. La terre de pipe présente le même ré-ultat. Cette terre donne même le maximum d'action quand n s'en sert comme diaphragme dans une pile qu'a formée M. Grove. Cette pile, qui est très-petite (*fig.* 5), puisque haque couple n'a pas une dimension plus grande que celle ue j'ai donnée à la figure, a pour diaphragmes des têtes de ipes en terre bouchées par en bas. Dans l'intérieur se rouve du zinc amalgamé plongeant dans de l'eau salée ; à 'extérieur du platine plongeant dans de l'acide nitrique.

Cette pile a une très-grande énergie d'action comparativement à sa grandeur, puisque avec six de ces couples on fait rougir un petit fil de platine et l'on décompose très-rapidement l'eau.

Le plâtre donne un bon résultat, mais il est attaqué avec le temps.

Avec la toile à voile à fils très-serrés on forme des piles très-énergiques, en employant toujours comme ci-dessus pour liquides, une dissolution de sulfate de cuivre du côté cuivre, et une dissolution de chlorure de sodium du côté zinc. L'intensité du courant ne peut être constante pendant plus de plusieurs heures. Pour avoir un meilleur résultat il vaudrait mieux, comme le fait à présent mon père dans des expériences dont il fera connaître incessamment les résultats, prendre deux sacs en toile à voile concentriques, l'un étant plus grand que l'autre, et mettre de l'argile (kaolin) entre les deux sacs; alors l'action du courant serait bien diminuée, mais aussi le mélange des dissolutions se ferait bien moins rapidement.

Dans ses recherches électro-chimiques, il a aussi employé pour diaphragmes des planchettes de bois de différente épaisseur. L'intensité du courant est alors très-énergique, car le bois, surtout des planchettes de sapin très-minces, sont excessivement perméables au courant. Il faut, avant d'opérer sur le bois, le soumettre dans des chaudières à vapeur à l'action de la vapeur d'eau, ou le faire bouillir dans l'alcool et l'éther, afin de lui enlever toute la sève et les matières résineuses qui pourraient retarder la marche du courant.

On peut aussi former des piles à courant constant de la manière suivante, en n'employant qu'un seul liquide conducteur (*fig.* 6). On prend un vase en terre poreuse, à demi cuite, mais assez cependant pour ne pas se délayer dans l'eau; on y verse de l'amalgame liquide de zinc et l'on plonge ce vase dans un bocal plein d'une solution saturée de sulfate de

vre. Un fil de cuivre qui plonge dans l'amalgame com-
nique l'électricité négative, tandis que l'électricité po-
ve est communiquée par une lame de cuivre plongeant
s le sulfate du même métal. C'est ici la réaction seule
l'acide sulfurique du sulfate sur le zinc de l'amalgame
produit le courant électrique.

On peut encore imaginer d'autres dispositions, mais
, en réalité, reviennent à celles que nous venons de dé-
e; car la condition *sine qua non* de la construction
ne pile à courant constant est la séparation des deux
es qui forment le couple à l'aide d'une membrane, et
ploi de deux liquides différents dans lesquels plongent
lames. En général, ces dispositions sont toutes bonnes,
ffit de choisir pour chaque série d'expériences que l'on
t faire la meilleure pile qui convient, suivant l'intensité
courant, la quantité d'électricité dont on veut faire
ge, et le temps pendant lequel on a besoin d'un courant
stant en intensité.

au Muséum d'Histoire naturelle nous avons une pile for-
: de la manière suivante, qui agit avec une très-grande
rgie pendant au moins six ou sept heures (*fig.* 7 et 8).
que élément se compose d'une auge en cuivre AB (*fig.* 7)
35 centimètres de largeur sur 40 de hauteur et 5 d'épais-
. Des petites auges *ab*, *ab*, communiquant avec AB au
ren d'ouvertures pratiquées dans la paroi de celle-ci, ser-
t à mettre des morceaux de sulfate de cuivre qui saturent
tinuellement la solution de sulfate contenue dans AB à
ure qu'elle est décomposée par le courant électrique. Le
al positif est une plaque de zinc amalgamé MN (*fig.* 8),
ne dimension un peu plus petite que l'auge AB, afin
elle puisse entrer dans cette auge; un sac en toile à voile
s lequel plonge la lame de zinc sert à séparer le zinc
cuivre; on emploie pour dissolution du côté du zinc,
'eau salée.

Avec douze couples formés de cette manière et réunis en

pile au moyen d'un châssis, on a des effets de décompositions chimiques et d'incandescence très-énergiques. Je crois que pour l'art de la dorure sur métaux à l'aide de l'électricité, dans le cas où l'on ferait usage de piles voltaïques, comme l'on n'a pas besoin d'une très-grande force voltaïque, il faudrait construire une pile de quelques éléments, ayant ses couples construits à peu près comme le couple ci-dessus; seulement les dimensions seraient plus petites : un décimètre, par exemple, de hauteur et de largeur suffirait.

Au lieu de toile à voiles, il serait bon d'employer du cuir peu épais, préparé comme nous l'avons indiqué plus haut. Le cuir ne donnerait pas un courant aussi énergique qu'un diaphragme en toile à voiles, mais l'action serait constante pendant plus longtemps, peut-être pendant une journée entière.

Pour reconnaître si le courant ne varie pas sensiblement d'intensité, il est inutile d'employer de galvanomètre, car ces courants sont toujours très-énergiques et désaimanteraient l'aiguille. Il suffit de prendre une petite boussole ordinaire dans laquelle l'aiguille est suspendue sur une chappe d'agate, et de la poser sur un ruban de cuivre faisant partie du circuit voltaïque, de telle manière que l'aiguille se retrouve dans la direction de la longueur du ruban, lorsque la communication avec la pile est interrompue. Aussitôt que le courant traverse le système, l'aiguille est déviée d'une certaine quantité, d'un certain angle; on note cet angle, et l'on regarde de temps en temps si le courant n'a pas changé. C'est une espèce de galvanomètre très-utile qui peut seul servir dans un atelier.

Tels sont les principes d'après lesquels on construit aujourd'hui les piles à courant constant, et en même temps les principaux appareils en usage. Nous ferons remarquer que l'on se sert aujourd'hui avec autant d'avantage d'un couple que de plusieurs, pour obtenir des effets calorifiques ou chimiques. On est parvenu, en effet, en choisissant con-

venablement les dissolutions, à décomposer avec un seul couple les substances dont les éléments sont réunis en vertu des plus fortes affinités ; il faut pour cela que les éléments fassent partie des liquides actifs.

Sur l'élasticité des corps solides ;

PAR M. A. MASSON.

(Mémoire présenté à l'Académie des Sciences, le 15 novembre 1841.)

Malgré ses nombreuses expériences sur la physique moléculaire, Savart voyait avec regret qu'il ne pourrait jamais résoudre tous les problèmes qui sans cesse assaillaient son esprit. Livré depuis longtemps à l'étude des propriétés mécaniques des fluides, il voulait soumettre les solides à des études comparatives, afin d'établir les bases d'une mécanique générale des corps pondérables. Il m'avait chargé d'une partie de ce travail. Aidé de ses conseils, travaillant sous sa direction et dans ses cabinets, j'avais commencé des recherches qui ont été interrompues par le malheur qui a plongé tous ses amis et moi particulièrement dans un chagrin que rien ne saurait adoucir, sinon le souvenir de sa bienveillance et de son amitié.

Les propriétés mécaniques des corps solides, si importantes pour la physique théorique, intéressent au plus haut degré la physique industrielle. La dureté, la malléabilité, la ductilité, ont été fort peu étudiées, et l'élasticité, qui depuis longtemps a occupé les plus grands géomètres, a besoin d'être soumise à des épreuves destinées à confirmer leurs nombreux résultats, pour la plupart sanctionnés déjà par l'expérience.

Examiner de nouveau les extensions et les compressions des corps solides, étudier l'action de la chaleur, de l'électricité, etc., sur les corps soumis à des forces destinées à

éloigner ou rapprocher leurs molécules, et comparer les résultats donnés par l'expérience avec ceux fournis par le calcul; voilà le but que je me suis proposé dans la première partie d'un travail que je vais reprendre incessamment.

En publiant actuellement le petit nombre de faits que j'ai découverts, j'ai voulu montrer toute l'importance de ce genre de recherches, et ne pas perdre le fruit d'un travail qui m'a déjà coûté beaucoup de peine et de temps.

J'ai d'abord examiné les verges dont Savart s'était servi dans ses belles *Recherches sur les vibrations longitudinales* (1). Il m'avait paru important de connaître les modifications que le temps pouvait avoir apportées dans la structure de ces verges. J'ai opéré sur le laiton, l'acier et le fer inscrits dans le tableau p. 397 du Mémoire déjà cité. J'ai obtenu, en employant les mêmes moyens de mesure, les résultats qui, comparés à ceux de Savart, sont inscrits dans le tableau suivant.

---

(1) *Annales de Chimie*, tome LXV, p. 337.

CHARGES.	LAITON.				FER.				ACIER.				CUIVRE.			
	S. Longueur.	Allong.	M. Longueur.	Allong.	S. Longueur.	Allong.	M. Longueur.	Allong.	S. Longueur.	Allong.	M. Longueur.	Allong.	S. Longueur.	Allong.	M. Longueur.	Allong.
0k	950,82		958,44		950,50		964,50		950,25		955,96		950,53			
5k	950,90	8	958,504	6,4	950,54	4	964,544	4,4	950,29	4	956,00	4	950,59	6		
10k	950,97	7	958,60	9,6	950,57	3	964,56	1,6	950,34	5	956,046	4,6	950,65	6		
15k	951,04	7	958,64	4	950,60	3	964,62	6	950,38	4	956,08	3,4	950,71	6		
20k	951,12	8	958,726	8,6	950,62	2	964,636	1,6	950,41	3	956,126	4,6	950,77	6		
25k	951,20	8	958,76	3,4	950,65	3	964,67	3,4	950,46	5			950,84	7		
30k	951,27	7	958,92	1,6	950,68	3	964,72(*)	5	950,50	4			950,90	6		
35k			958,95	3												
Allongt. moyen		7,51		7,285		3		3,66		4,166		4,15		6,166		

(*) Vingt-quatre heures après, la température n'ayant pas changé, on a trouvé de nouveau 974,62; on a chargé la verge de 5 kilogr., l'allongement n'a pas varié dans une demi-heure d'une manière sensible.

On voit par ce tableau que les corps solides ne s'allongent pas d'une manière continue, mais par saut brusque, phénomène qu'on a aussi observé dans la dilatation par la chaleur. La grande différence qui existe entre les résultats de Savart et les miens pour les verges de laiton et de fer, me fit craindre d'abord des difficultés d'expérience que je ne pouvais vaincre malgré le soin que j'avais de prendre plusieurs fois de suite la même mesure, qui restait invariable. Mais je fus rassuré par la mesure des verges de fer et d'acier, et par Savart, qui avait souvent observé ce phénomène d'un allongement discontinu qu'il regardait comme inhérent à la nature même des corps. On peut voir en effet, p. 387 et 388 de son Mémoire, qu'il a trouvé la même marche dans les extensions. Il est probable que les molécules des verges que j'ai de nouveau examinées ont subi avec le temps un nouvel arrangement qui n'a eu aucune influence sur l'élasticité moyenne et la vitesse du son.

Les molécules des corps solides paraissent donc abandonner brusquement leur position sous l'action d'une force de traction, pour atteindre un autre état d'équilibre dépendant de l'intensité de cette force, et à laquelle elles ne parviennent qu'après un temps plus ou moins long.

Si pendant ce mouvement on augmente la force, celle-ci pourra devenir plus grande que celle nécessaire à l'équilibre dans la position qu'elles auraient prise sans l'accroissement de force; elles dépasseront alors subitement cette position, et marcheront lentement vers une autre où elles s'arrêteront après un temps plus ou moins long.

Savart pensait qu'il n'y avait aucun équilibre stable pour les molécules des corps solides, que, soumises à des forces de traction, elles devaient s'éloigner indéfiniment les unes des autres, et que les verges chargées de poids devaient *filer*. Il me semble cependant que les constructions anciennes attestent qu'il y a pour les corps solides une limite d'allongement correspondant à une tension donnée, et j'ai voulu le mettre en évidence par des expériences qui malheureusement n'ont pas duré assez longtemps, mais qui, tout imparfaites qu'elles sont, paraissent confirmer l'idée d'une limite d'élasticité.

J'ai pris une nouvelle verge de cuivre et une verge de zinc, et en les chargeant successivement de poids très-faibles, j'ai obtenu les résultats suivants.

SUBSTANCES.														
	Charges.....	1^k	2^k	3^k	4^k	5^k	6^k	7^k	8^k	9^k	10^k	11^k	12^k	
Cuivre.....	Allongement .	2^{mm}	4	1	0	0 (*)	5	0	.0	0	0	4	0	Allong. moyen. 0,65
Zinc.....	Allongement .	0^m,0016	0,004	0,2	0,07	0,01	0,01	0,05	0,09		0,36(**)	0,06	0,07	

(*) On a laissé la verge de cuivre chargée de 5 kilog. pendant deux jours, elle n'a pas varié et a de suite subi un allongement de 5 centièmes de millimètre pour 1 kilog. de plus.

(**) Cet allongement 0,36 a été pris vingt-quatre heures après avoir chargé la verge de 10 kil., elle s'est par conséquent allongée en vingt-quatre heures de 0^{mm},27, et a commencé à filer d'une manière continue.

Une autre verge de zinc de même diamètre, chargée de 4 kil., a varié en vingt-quatre heures de 0^{mm},08.

Le zinc commence à filer sous de faibles charges, et par conséquent sa limite d'élasticité est peu éloignée du point de départ. C'est ce qui m'a empêché d'obtenir des résultats exacts dans la détermination de son coefficient d'élasticité. Il est nécessaire, dans toutes les expériences sur les extensions, de laisser longtemps la verge sous l'influence de la dernière charge, et de s'assurer que l'allongement n'a pas varié. On pourrait en effet attribuer à l'action de cette charge un effet qui serait le résultat d'un allongement continu, et commettre de grandes erreurs sur les coefficients d'élasticité.

Détermination des coefficients d'élasticité des corps solides.

En mesurant les extensions qu'il a publiées, Savart avait pour but d'expliquer la différence des longueurs des parties comprises entre deux lignes nodales dans les vibrations longitudinales des verges, différence occasionnée, comme il l'a trouvé, par l'inégale extensibilité des différentes parties de ces verges. En reprenant le même genre de recherches, d'après ses conseils, j'ai voulu déterminer tous les éléments dont la science a besoin pour établir les lois de l'élasticité des corps solides. Nous prendrons dans ce travail pour coefficient d'élasticité l'allongement que prendrait une verge ayant pour longueur l'unité, pour section l'unité de surface, et pour charge l'unité de poids. Ce nombre, comme on le voit, exprimera l'allongement que prendrait une verge égale à l'unité, chargée de son propre poids. Pour obtenir ces coefficients, il fallait déterminer la densité des verges soumises à l'extension : tous les résultats de mes recherches sont contenus dans les tableaux suivants :

VERGES.	LONGUEUR totale.	DIAMÈTRES mesurés.	DIAMÈTRES calculés.	POIDS.	POIDS de l'eau déplacée	Densité.	Température.
	m.	mm.	mm.	gr.	gr		
Cuivre....	1,319	2,77	2,79	71,925	8,060	8,913	1° R.
Acier.....	1,3184	2,77	2,79	62,625	8,070	7,75	2° R.
Laiton....	1,3165	2,90	2,98	77,525	9,195	8,42	2° R.
Fer.....	1,315	2,90	2,98	70,865	9,155	7,73	2° R.
Zinc.....	1,039	3,12	3,10	55,665	7,815	7,1149	3° R.

Allongements pour 5 kilogrammes.

VERGES.	LONGUEUR MESURÉE.		ALLONGEMENTS mesurés.		ALLONGEMENTS calculés.	
	S.	M.	S.	M.	S.	M.
Cuivre.....	950,53		6,166		5,17	3,93
Acier.....	950,25	955,96	4,166	4,15	3,81	6,456
Laiton.....	950,82	958,44	7,51	7,28	6,40	3,44
Fer.....	950,50	961,50	3	3,66	3,39	5,57
Zinc.....		948,07		7,10		

Coefficients de l'élasticité, en dix-millionièmes de leurs valeurs.

VERGES.	Mesuré.		Calculé.	VALEUR DE $\frac{\Pi r^4 dv^2 \lambda}{pl}$	
	S.	M.	S.	S.	M.
Cuivre.....	7,07		5,93	11,695	
Acier.....	4,16	4,03	3,81	10,698	10,35
Laiton	9,30	8,95	7,93	11,503	11,06
Fer	3,4	4,08	3,84	8,68	10,43
Zinc		8,02	6,30		12,495

VERGES.	SONS PRODUITS.	VITESSES DU SON, celle de l'air étant 1.
Cuivre	Sol_5	12,21
Acier	Si_5	15,22
Laiton	$Mi^{\#}_5$	10,56
Fer	Si_5	15,17
Zinc	$Si_5\frac{10}{11}$	11,85

Je me suis servi dans ce travail des diamètres calculés par les densités qui m'ont paru beaucoup plus exacts. La plus petite erreur dans la mesure directe apportait dans le poids des différences de plusieurs grammes qui ne pouvaient résulter d'une mauvaise opération, puisque les balances étaient très-sensibles au demi-centigramme. Je me suis assuré d'ailleurs qu'il y avait une erreur dans la mesure directe des verges de laiton et de fer dont les diamètres ont été pris beaucoup trop faibles.

On a trouvé par l'analyse qu'en multipliant les coefficients d'élasticité d'une verge par le carré de la vitesse du son de cette même verge, on obtient un nombre constant qui représente l'intensité de la pesanteur. En faisant les calculs, j'ai trouvé des nombres assez approchés pour qu'on puisse regarder cette loi comme suffisamment exacte. Les allongements donnés par l'expérience et le calcul ne diffèrent que de quelques millièmes de millimètre, et il est à peu près impossible de répondre dans ces expériences d'erreurs aussi petites. Ainsi se trouve vérifiée par l'expérience une des lois les plus utiles de la mécanique.

Influence de la température sur l'élasticité.

N'ayant pu jusqu'à présent soumettre des corps à des températures élevées, comme je vais le faire, je me conten-

terai pour le moment d'indiquer que dans les limites où j'ai opéré, —4° et+20°, je n'ai trouvé aucune différence dans le rapport des allongements. L'élasticité n'est donc pas affectée d'une manière sensible par la chaleur.

Influence de la trempe sur l'élasticité.

La trempe paraît n'avoir aucune influence sur l'élasticité, ainsi que Coulomb l'avait annoncé dans ses expériences sur la torsion et la flexion des verges. J'ai pris un ressort de montre et j'ai mesuré son allongement, je l'ai recuit et soumis de nouveau à l'expérience. J'ai obtenu les résultats suivants : les charges successives étaient de 4 kilogr.

Ressort trempé.. o. 1,4. 12,2. 8,4. 4,8. o. 12,4. 6,6.
Ressort recuit.. o. o. o. 12. 13,6. 9. 5. 11. 8. 4.

Les moyennes d'allongement pour 1 kilogr. sont

Ressort trempé..... $1^{c.mm},63$
Ressort recuit..... $1^{c.mm},739$

De la dureté.

Le fer, l'acier trempé et l'acier recuit ne présentent aucune différence d'élasticité notable. Il n'en est pas de même quand on examine leur dureté. Le zinc, dont l'élasticité est beaucoup plus grande que celle de ces trois substances, est beaucoup plus mou. On ne peut donc tirer de l'élasticité seule des corps aucune induction relativement à leur dureté. En admettant que cette propriété est liée à la limite d'élasticité des corps solides, on ne peut expliquer la différence entre l'acier trempé dur qui casse si facilement et l'acier recuit au bleu qu'on peut plier sans le rompre. J'ai cherché à étudier ces différentes propriétés dans des aciers pris à divers états, mais j'ai été arrêté par la difficulté de tremper dur des verges d'acier d une certaine longueur sans

les déformer, ou de manier des fils un peu longs sans les casser.

Rapport entre l'élasticité des corps solides et leurs poids atomiques.

En multipliant les coefficients d'élasticité des corps simples par un multiple ou sous-multiple de leur équivalent, on obtient un nombre constant. J'ai été frappé de ce résultat pour le zinc, le cuivre et le fer. Bien que je n'attribue ce fait qu'au hasard, j'ai cru devoir l'indiquer, parce que dans des études aussi difficiles que celles relatives à la physique moléculaire, études si peu avancées, on ne doit négliger aucune donnée, quelle qu'en puisse être la valeur.

Produit des élasticités par les poids atomiques.

Fer..... $0,384 \times 2 \times 3,39 = 2,63$,
Cuivre .... $0,593 \times 4,03 = 2,39$,
Zinc..... $0,063 \times 3,95 = 2,48$;

en prenant pour l'étain et le cuivre les vitesses du son données par Chladni, on obtiendra :

	Vitesse du son, celle de l'air = 1.	Coefficients d'électricité.	Produits par les équivalents.
Étain.....	7,5	15,725	$15,725 \times \frac{7,35}{5} = 2,31$.
Argent.....	9,0	1,092	$1,092 \times \frac{6,75}{3} = 2,45$.

Depuis que j'ai présenté ce Mémoire à l'Institut, j'ai de nouveau déterminé la vitesse du son dans l'étain, et je l'ai prise dans le plomb. M. N. Savart, qui a eu l'extrême obligeance de m'aider dans la détermination de ces vitesses, s'est servi du diapason avec lequel son frère avait constamment déterminé les vitesses du son. Voici le résultat des expériences faites sur le plomb et l'étain.

Étain.

L'étain que j'ai employé est connu dans le commerce sous le nom d'étain en larmes, et passe pour le plus pur.

Après l'avoir longtemps forgé à froid et passé au laminoir, on obtient un étain aussi mou que du plomb, très-homogène, ne présentant aucune facette cristalline, et ne faisant *entendre aucun cri quand on le plie*. Ainsi, ce caractère de l'étain disparaît complétement quand on détruit sa structure cristalline par des corroyages suffisamment prolongés. Les verges que j'ai fait tirer à la filière ont environ 3^{mm} de diamètre, et n'ont aucune consistance; elles ne diffèrent pas notablement sous ce rapport des verges de plomb qui ont le même diamètre.

	Longueur.	Sons produits.	Vitesse du son, celle de l'air étant 1.
Verge n° 1.....	$0^{m},70$	si_4^b +	7,79
— n° 2.....	0,71	si_4^b —	7,84
— n° 3.....	1,15	$ré_5$	7,9654.
— n° 4.....	1,15	$ré_5$	

La vitesse du son augmente donc avec la longueur des verges, ce qui paraît indiquer que pour les colonnes solides comme pour les gaz la loi des vibrations longitudinales n'est vraie que si la longueur de la verge est très-grande par rapport à sa largeur.

En prenant la dernière vitesse du son, on trouve, pour le coefficient d'élasticité de l'étain calculé, $\frac{g}{v^2} = 14,103$.

Plomb.

J'ai employé le plomb pauvre qui sert aux essais d'argent.

J'ai fait tirer des verges de 3 millimètres de diamètre. Elles n'ont pas de consistance, et j'ai eu beaucoup de peine

à les mettre en vibration; cependant les sons qu'elles produisent sont bien nets et très-faciles à saisir.

	Longueur.	Sons produits.	Vitesse du son, celle de l'air = 1.
Verge n° 1....	0,70	$ut_5 \frac{80}{81}$	4,2560.
— n° 2....	0,67	$ut\sharp_5 \frac{80}{81}$	4,2439.
— n° 3....	1m,15	$mi_4 \sqrt{\frac{24}{25}}$	4,3348.

Ainsi la vitesse du son augmente avec la longueur de la verge comme pour l'étain.

Le coefficient calculé est $\frac{g}{v^2} = 48,826$.

Le plomb offre ce fait curieux d'une vitesse de son à peu près égale à celle de l'eau.

On admettait généralement que, dans les corps solides, la vitesse du son était plus grande que dans les liquides, et dans ceux-ci plus grande que dans les gaz. Le plomb est le premier exemple d'un corps solide dans lequel la vitesse du son n'est pas plus grande que dans les liquides : sa vitesse absolue est 1443m,48; la vitesse du son dans l'eau est de 1435 mètres.

Recherches sur l'Indigo;

PAR M. AUG. LAURENT.

(Mémoire présenté à l'Académie des Sciences, le 22 mars 1841.)

(Suite.)

La formule $C^{32}H^{12}Az^2O^4$ représente l'isatine plus 2 atomes d'hydrogène. Quelque temps après que j'eus envoyé un extrait de mon Mémoire à l'Académie, M. Erdmann a préparé et fait l'analyse de ce composé; il l'a trouvé formé de

Carbone.....	68,35
Hydrogène....	4,34

D'où il a déduit cette formule : $C^{32}H^{12}Az^2O^3$.

Mais il faut remarquer que l'isathyde, d'après M. Erdmann, desséchée au bain-marie, prend une teinte violette, et qu'il a analysé un produit desséché à 110°. Je crois, d'un autre côté, que les proportions de l'hydrosulfate d'ammoniaque, employées pour sa préparation, ont de l'influence sur sa pureté.

D'après ma formule, la formation de l'isathyde aurait lieu de la manière suivante :

$$C^{32}\,H^{10}\,Az^2\,O^4 + H^2S = C^{32}\,H^{10}\,Az^2\,O^4, H^2 + S\,;$$

et d'après la formule de M. Erdmann,

$$C^{32}H^{10}\,Az^2\,O^4 + 2H^2\,S = C^{32}\,H^{10}\,Az^2\,O^3, H^2 + S + H^2\,O.$$

Sulfésathyde.

Lorsque le chlore, le brome, le soufre, etc., remplacent l'hydrogène d'une combinaison, je termine les noms en a, é, i....

Lorsque le soufre, l'amide, l'imide, remplacent l'oxygène, je me sers également des voyelles, mais placées d'une autre manière, pour indiquer le nombre d'atomes d'oxygène substitué. Ainsi, je dis sulf*a*satine, sulfésatine, am*a*satine, imésatine, im*i*satine, etc.

J'ai préparé la sulfésathyde en faisant passer un courant d'hydrogène sulfuré dans une dissolution alcoolique bouillante et très-concentrée d'isatine. Sous l'influence du gaz, la liqueur perd peu à peu sa couleur foncée, et elle devient légèrement jaune. Il se forme en même temps un dépôt cristallin dont la quantité augmente par le refroidissement; ce dépôt, examiné au microscope, présente encore deux espèces de cristaux, des octaèdres de soufre et des paillettes que je n'ai pas examinées, et qui paraissent être de l'isathyde. En versant la dissolution alcoolique peu à peu dans une assez grande quantité d'eau, il se forme un dépôt floconneux gris jaunâtre. Si l'on verse l'eau dans la dissolution alcoolique, le dépôt qui se forme est gris-brun, mou, résineux.

La sulfésathyde desséchée est d'un gris jaunâtre, pulvérulente, inodore, insipide, insoluble dans l'eau bouillante, dans laquelle elle se ramollit. L'alcool et l'éther la dissolvent très-facilement, à l'aide de la chaleur; elle ne

cristallise pas par le refroidissement ou par l'évaporation spontanée.

Lorsqu'on la chauffe dans un tube, elle se boursoufle considérablement aussitôt qu'elle commence à entrer en fusion. Il se dégage de l'hydrogène sulfuré, une huile brune et une matière cristallisée en aiguilles. Il reste un volumineux dépôt de charbon.

Le brome l'attaque vivement; j'examinerai les produits de cette action plus loin.

La potasse caustique la décompose en donnant naissance à divers produits que je ferai également connaître.

L'ammoniaque la décompose aussi, en donnant un des produits que l'on obtient avec la potasse, la sulfasathyde.

L'acide sulfurique la dissout à l'aide d'une douce chaleur; l'eau versée dans cette dissolution n'en précipite rien, si toutefois on a chauffé pendant quelques secondes. La potasse versée dans cette dissolution n'en précipite rien, mais la liqueur rouge devient verte.

L'acide nitrique bouillant concentré la décompose, elle se boursoufle, en dégageant de l'acide hyponitrique, puis elle disparaît. De l'eau versée dans la dissolution donne un précipité jaune floconneux.

Si l'on emploie l'acide nitrique bouillant étendu de son volume d'eau, elle se gonfle également en dégageant de l'acide hyponitrique; si après quelques minutes d'ébullition on traite la matière brun-rouge boursouflée par l'alcool, il se dissout une matière rougeâtre insoluble dans l'eau, soluble dans la potasse, d'où elle est précipitée par les acides. L'alcool laisse une matière soluble dans la potasse; celle-ci, neutralisée par un acide donne un dépôt blanc qui forme avec l'ammoniaque une matière blanche cristallisée en aiguilles microscopiques et insoluble dans l'eau : c'est probablement une amide. La dissolution nitrique de la sulfésathyde renferme de l'acide sulfurique, mais pas d'acide oxalique.

Une première analyse de la sulfésathyde m'a donné sur

0,4000
0,807 d'acide carbonique,
0,140 d'eau.

Une autre portion d'eau traitée par l'acide nitrique,

bouillant jusqu'à ce que tout fût dissous, puis traitée par le chlorure de barium, a donné une quantité de sulfate qui représentait 21,8 de soufre, une autre analyse a donné 21,9 pour cent.

Ces nombres conduisent à la formule suivante :

		Trouvé.
C^{32}.....	55,8	55,0
H^{12}.....	3,6	3,8
A^{2}.....	»	»
O^{2}.....	»	»
$S^{\frac{1}{2}}$.....	23,0	21,9

La sulfésathyde analysée avait été préparée à l'aide d'une dissolution froide alcoolique d'isatine. Comme il se forme du soufre, une portion de celui-ci avait dû rester en dissolution dans l'alcool et être précipitée avec la sulfésathyde.

J'ai fait alors une autre préparation, comme je l'ai indiquée plus haut, en me servant d'une dissolution bouillante et saturée d'isatine; j'avais même ajouté un excès de celle-ci. Après avoir laissé passer longtemps le courant d'hydrogène sulfuré, j'attendis huit jours avant de précipiter la sulfésathyde, afin que presque tout le soufre pût se déposer. Je versai ensuite quelques gouttes d'eau dans la dissolution, il se forma un léger dépôt, que je rejetai. Je continuai la précipitation avec de l'eau, et c'est le second dépôt formé qui servit aux analyses suivantes :

I. 0,400 ont donné
0,850 d'acide carbonique,
0,138 d'eau.

II. 0,400
0,848 d'acide,
0,137 d'eau.

III. 0,500 détruits par l'acide nitrique bouillant, puis traités par le chlorure de barium, ont donné
0,7285 de sulfate renfermant 0,1005 de soufre.

Ces nombres conduisent à la formule :

		Calculé.	Trouvé. I.	Trouvé. II.
C^{32}.....	1200	58,4	57,95	57,32
H^{12}.....	75	3,7	3,82	3,80
Az^2.....	177	9,8	»	
O^2.....	200	8,6	»	
S^2.....	402	19,5	20,10	
	2054	100,0		

Le carbone est un peu faible et le soufre un peu fort dans la même proportion. Cela se conçoit facilement, car quoique la sulfésathyde soit très-soluble dans l'alcool, elle avait dû retenir encore une trace de soufre.

L'hydrogène sulfuré agit donc autrement que l'hydrosulfate d'ammoniaque, mais d'une manière analogue; un atome d'hydrogène sulfuré forme d'abord un dépôt de soufre, tandis que son hydrogène s'unit à l'isatine. Deux autres atomes d'hydrogène sulfuré changent leur soufre contre deux atomes d'oxygène.

$$C^{32}H^{10}Az^2O^4,O^2 + 3H^2S = C^{32}H^{10}Az^2O^4,S^2,H^2 + 2H^2O + S.$$

C'est de l'isathyde dont deux atomes d'oxygène sont remplacés par deux atomes de soufre.

Après avoir eu connaissance du résumé de mes recherches, M. Erdmann a préparé et analysé ce composé qu'il a nommé sulfisatine. Ses résultats sont très-différents des miens, et ils s'approchent de ceux de ma première analyse que j'ai rejetée. Il a trouvé

Carbone.....	53,5
Hydrogène...	3,4
Soufre.....	24,5

Il en a déduit la formule suivante:

C^{32}.....	53,2
H^{12}.....	3,3
Az^2.....	
O^2.....	
S^3.....	26,7

Mais le soufre trouvé est trop faible, et puis M. Erdmann n'ayant pas eu connaissance de la manière dont j'ai préparé mon produit, a probablement opéré comme j'avais fait la première fois.

D'après sa formule, d'ailleurs, il n'aurait pas dû se former un dépôt de soufre,

$$C^{32}H^{10}Az^2O^4 + 3H^2S = C^{32}H^{12}Az^2O^2S^3 + H^4O^2;$$

or la quantité de soufre déposée n'est pas accidentelle, elle est proportionnelle à la quantité de sulfésathyde formée. J'avais employé 20 grammes d'isatine; j'aurais dû obtenir 2,17 de soufre. Le dépôt pesait environ 3 grammes, mais l'excès de poids est dû à la formation de la matière blanche cristalline que j'ai signalée plus haut. Ces 3 grammes ont été décomposés par un mélange de potasse et de nitre. L'acide sulfurique, dosé par un sel de barium, a donné une quantité de sulfate qui correspondait à $1^{gr},9$ de soufre.

Chlorisathydase (Chlorisathyde).

J'ai voulu préparer ce composé par la méthode indiquée par M. Erdmann, en faisant passer un courant d'hydrogène sulfuré sur la chlorisatine, mais le produit que j'ai obtenu ne ressemble nullement à celui qu'il a décrit. J'ai trouvé qu'il renfermait une très-grande quantité de soufre; je n'en ai fait qu'une analyse, dont je n'ai pu tirer aucune formule. M. Erdmann a depuis repris ce sujet et trouvé que ce composé renferme en effet du soufre. Voici la formule qu'il a déduite de son analyse:

		Calculé.	Trouvé.
C^{32}.....	1200	41,6	41,7
H^{10}.....	62,5	2,1	2,4
Az^2	177		
Cl^3.....	442		
S^5.....	1005	34,6	31,1
	2886,5		

Elle représente de la chlorisatine dont quatre atomes d'oxygène sont remplacés par quatre atomes de soufre, puis combinée avec un atome d'acide hydrosulfurique.

Cette combinaison est bien peu probable. L'analogie nous

porterait à considérer ce corps comme de l'isathyde dont quatre atomes d'oxygène seraient remplacés par quatre atomes de soufre. Dans cette hypothèse on aurait

C^{32}.....	1200	44,7
H^{10}.....	62	2,3
Az^2.....	177	
Cl^2.....	442	
S^4.....	804	30,0
	2685	

M. Erdmann dit que le précipité de sulfochlorisatine ne renferme qu'accessoirement un peu de soufre libre, mais il n'indique pas s'il l'a séparé. La formule précédente s'accorde aussi bien avec l'expérience que la formule de M. Erdmann, et la différence entre le calcul et l'expérience se conçoit plus facilement, car on peut bien admettre que la sulfochlorisatine renfermait un peu de soufre libre.

Pour préparer le chlorisathydase, j'eus alors recours au second procédé indiqué par M. Erdmann, à l'emploi de l'hydrosulfate d'ammoniaque. Le précipité blanchâtre soumis à l'analyse a donné sur

I. 0,330
0,630 d'acide carbonique ;
0,085 d'eau.

II. 0,300
0,580 d'acide carbonique.

L'eau a été perdue.

III. 0,200 ont donné $12^{c.c.}$ d'azote à 0° et à $0^{m},760$.

De ces nombres on tire la formule suivante :

		Calculé.	Trouvé. I.	Trouvé. II.
C^{32}.....	1200	52,6	52,03	52,7
H^{10}.....	62,5	2,7	2,80	»
Cl^2.....	442	19,4		
Az^2.....	177	7,7	7,56	
O^4.....	400	17,6		
	2281,5	100,0		

Elle représente le chlorisatinase, plus 2 atomes d'hydrogène. L'isatine et le chlorisatinase se comportent de la même manière avec l'hydrosulfate d'ammoniaque et avec l'hydrogène sulfuré; la première change 2 équivalents d'oxygène contre 2 équivalents de soufre, tandis que le chlorisatinase paraît changer 4 équivalents d'oxygène contre 4 de soufre.

Le chlorisathydase doit être représenté, suivant M. Erdmann, par $C^{32}H^{10}Cl^{2}O^{3}$; il a trouvé 54,6 de carbone; il donne des formules analogues pour le bromisathydase, le chlorisathydèse et le bromisathydèse, $C^{32}H^{10}Az^{2}Br^{2}O^{3}$, $C^{32}H^{10}Az^{2}Cl^{4}O^{3}$, $C^{32}H^{10}Az^{2}Br^{4}O^{3}$. Ces trois dernières doivent probablement se changer en

$C^{32}H^{10}Az^{2}Br^{2}O^{4}$, $C^{32}H^{8}Az^{2}Cl^{4}O^{4}$, $C^{32}H^{8}Az^{2}Br^{4}O^{4}$.

Action de la potasse sur l'isathyde et la sulfésathyde.

La potasse produit avec ces deux composés, et surtout avec le dernier, plusieurs nouvelles combinaisons. On n'est pas toujours sûr de les produire à volonté ; du moins je n'ai pas fait assez varier les circonstances pour pouvoir indiquer les doses de potasse, la chaleur et le temps à employer pour préparer tel ou tel composé à volonté. Ce sujet est hérissé de difficultés, parce que plusieurs de ces composés ont très-peu de stabilité, et parce qu'ils ne sont pas toujours très-purs.

Sulfasathyde.

J'ai préparé ce corps en versant goutte à goutte une dissolution de potasse caustique dans une dissolution alcoolique de sulfésathyde. La liqueur jaunâtre passe immédiatement au rouge, en laissant déposer, au bout de quelques secondes, un précipité blanc cristallin. Il se forme un précipité semblable avec l'ammoniaque, mais je ne l'ai pas examiné. Au bout de vingt-quatre heures, j'ai jeté le précipité sur un filtre et je l'ai lavé avec de l'alcool bouillant, puis desséché. Ce précipité possède une légère teinte rosée due à la présence d'une petite quantité d'une matière rose que je nomme *indine*, et dont il est difficile d'éviter la formation. Quelquefois elle est tellement abondante qu'il faut rejeter le produit.

Si l'on voulait en obtenir une petite quantité cristallisée, il faudrait dissoudre dans l'alcool absolu, et à l'aide de l'ébullition, une partie des cristaux noirs, et décomposer la dissolution bouillante par l'acide chlorhydrique; l'indine se précipiterait peu à peu sous la forme de petites aiguilles microscopiques.

L'indine pure est colorée en rose foncé très-beau, elle est insoluble dans l'eau. L'alcool et l'éther n'en dissolvent à l'aide de l'ébullition qu'une très-petite quantité. Par la chaleur elle se boursoufle aussitôt qu'elle commence à entrer en fusion. Elle laisse dégager une matière cristallisée en aiguilles, et il reste beaucoup de charbon.

L'acide nitrique bouillant la décompose en altérant très-peu sa couleur; il se dégage des vapeurs rouges. Si l'on continue l'ébullition, le nouveau produit se décompose à son tour et tout disparaît.

L'acide sulfurique la dissout en se colorant en rouge, l'eau la précipite non altérée.

Le brome la décompose en altérant légèrement sa couleur, qui devient violacée. C'est probablement la bromindine, ou bibromindine de M. Erdmann. L'ammoniaque ne l'altère pas.

La potasse donne avec elle diverses réactions sur lesquelles je vais revenir.

J'ai fait beaucoup d'analyses de ce composé avant de pouvoir en déterminer la formule. Je me suis arrêté aux suivantes, qui m'ont offert la plus grande quantité de carbone, et je choisis ces analyses, parce que, lorsque l'indine est impure, elle est toujours mêlée avec des produits qui renferment moins de carbone qu'elle.

I. 0,300 ont donné :
0,792 d'acide carbonique ;
0,122 d'eau.

II. 0,2985
0,7840 d'acide ;
0,126 d'eau.

III. 0,300
0,793 d'acide ;
0,127 d'eau.

IV. 0,200 ont donné $17^{c.c.},5$ d'azote à 0° et à $0^{m},760$.

Ces nombres conduisent à la formule

		Calculé.	Trouvé. I.	II.	III.
C^{32}.....	1200	72,64	72,00	71,55	71,20
H^{12}.....	75	4,68	4,50	4,65	4,70
Az^2.....	177	10,70	11,00	11,00	11,00
O^2.....	200	11,98	12,50	12,80	13,10
	1652	100,00	100,00	100,00	100,00

elle représente la sulfésathyde moins 2 atomes de soufre. Ce composé se forme quelquefois en traitant la sulfasathyde par la potasse. J'en ai obtenu une fois en traitant l'isathyde par la potasse; il se forme en même temps de l'isatinate de potasse, dont on peut retirer l'isatine à l'aide de l'acide chlorhydrique.

Enfin on peut encore l'obtenir en chauffant assez fortement un composé que je nomme *hydrindine*.

Voici les formules qui expliquent ces transformations.

1°. Avec la sulfésathyde et la potasse. La dissolution séparée de l'indine, dégage de l'hydrogène sulfuré par l'acide chlorhydrique

$$C^{32}H^{12}Az^2O^2S^2 + 2OK = C^{32}H^{12}Az^2O^2 + 2(SOK).$$

2°. Avec la sulfasathyde. Il se forme d'autres produits. La liqueur donne par l'acide chlorhydrique de l'hydrogène sulfuré et un dépôt de soufre accompagné d'une petite quantité d'une matière rougeâtre

$$C^{32}H^{12}Az^2O^3S + OK = C^{32}H^{12}Az^2O^2 + SO^2K.$$

3°. Avec l'isathyde et la potasse,

$$3\,C^{16}H^{10}Az^2O^4 + 2\,OK = 2\,(C^{16}H^{10}Az^2O^4, H^2O, OK) + C^{16}H^{10}Az^2O^2.$$

Isatinate.

4°. En chauffant l'hydrindine,

$$C^{32}\,H^{12}\,Az^2\,O^{\frac{5}{2}} = C^{32}\,H^{12}\,Az^2\,O^2 + HO^{\frac{1}{2}}.$$

L'indine est isomère avec l'indigo blanc; elle est analogue à la chlorindine violette de M. Erdmann

$$C^{32}\,H^{10}\,Cl^2\,O^2\,Az^2.$$

Il a obtenu celle-ci en chauffant le chlorisathydase; il se forme en même temps du chlorisatinase. En adoptant les formules que j'ai données pour ces composés, l'équation suivante explique leur formation.

$$\underset{\text{Chlorisathydase.}}{3C^{32}H^{10}Cl^{2}Az^{2}O^{4}} = 2\,\underset{\text{Chlorisatinase.}}{C^{32}H^{4}Cl^{2}Az^{2}O^{4}} + \underset{\text{Chlorindinase.}}{C^{32}H^{10}Cl^{2}Az^{2}O^{4}}.$$

Si d'après leur formation nous représentons le chlorisathydase et la sulfésathyde par

$$C^{32}H^{8}Cl^{2}Az^{2}O^{4} + H^{2} \text{ et } C^{32}H^{10}Az^{2}O^{2}S^{2} + H^{2}$$

nous pourrons regarder également l'indine et le chlorindinase comme des hydrures

$$C^{32}H^{10}Az^{2}O^{2} + H^{2} \text{ et } C^{32}H^{8}Cl^{2}Az^{2}O^{2} + H^{2}.$$

Suivant M. Erdmann, le chlorisathydase traité par le chlore ne lui cède pas d'hydrogène. J'ai vu d'un autre côté que l'indine soumise à l'action du brome se transformait en une poudre noire violacée qui est probablement le bromindinase (bromindine de M. Erdmann); si cela est, le chlore et le brome, en décomposant l'indine, ne lui enlèvent pas l'hydrogène, qui est au delà du radical, mais bien celui qui est dedans.

Acide indinique.

J'ai dit plus haut, que, en versant une dissolution un peu chaude et très-concentrée de potasse sur de l'indine humectée avec de l'alcool, il se formait une dissolution qui ne tardait pas à se prendre en une bouillie de cristaux noirs. Ceux-ci sont une combinaison d'indine ou plutôt d'acide indinique et de potasse. Ce sel jouit de très-peu de stabilité; l'eau le décompose sur-le-champ presque entièrement; il devient rose, et la dissolution n'en retient qu'une très-petite quantité. Si l'on neutralise celle-ci avec un acide, il se forme un précipité rose d'indine.

L'alcool absolu ne dissout qu'une petite quantité de ce sel, et il le décompose même en prolongeant le lavage. L'alcool ordinaire le détruit plus facilement. On ne peut pas le conserver au contact de l'air; il y devient peu à peu rose. J'ai cherché inutilement à déterminer la com-

position de ces cristaux, j'ai trouvé des quantités très-variables de potasse.

Si le lavage à l'alcool n'a pas été assez prolongé, le sel renferme un excès de base; c'est le contraire, s'il a été lavé trop longtemps. L'indine est neutre comme l'isatine, et probablement comme elle, elle absorbe un atome d'eau pour se combiner avec la potasse; alors la formule de l'acide indinique serait

$$C^{32}\ H^{14}\ Az^2\ O^3.$$

Hydrindine.

Lorsque l'on verse de la potasse en dissolution sur la sulfasathyde, celle-ci se dissout entièrement par une légère élévation de température. Par le refroidissement on obtient quelquefois de jolis petits cristaux brillants d'un jaune pâle, et le plus souvent la liqueur se prend en une bouillie d'aiguilles soyeuses.

Les premiers cristaux qui sont des prismes courts, constituent l'hydrindine. Les seconds, soyeux, sont une combinaison de potasse et d'hydrindine; pour en retirer cette dernière, on étend le sel d'une assez grande quantité d'eau, on le jette sur un filtre et on le lave. L'eau le décompose et l'hydrindine reste sur le filtre. En versant de l'acide chlorhydrique dans la dissolution filtrée, il se précipite une petite quantité d'hydrindine, accompagnée de soufre et d'une matière rougeâtre qui est peut-être de l'indine; j'ai déjà fait remarquer qu'une fois, en traitant la sulfasatyde par la potasse, elle s'était en partie changée en indine.

Si, après avoir versé de la potasse sur de l'indine humectée d'alcool, on chauffe légèrement, il se forme, comme je l'ai dit, des cristaux noirs d'indinate potassique; mais en chauffant un peu trop longtemps, et même quelquefois en quelques secondes, la couleur noire disparaît, et par le refroidissement, au lieu de cristaux noirs, on obtient les aiguilles soyeuses de l'hydrindinate de potasse.

En traitant l'isatyde par la potasse et un peu d'alcool, elle se dissout et la liqueur prend une belle couleur rose. En y versant de l'acide chlorhydrique et évaporant doucement, la couleur rose disparaît et elle devient jaune. Par le refroidissement il se dépose un mélange de deux ma-

tières que l'on sépare à l'aide d'un peu d'alcool bouillant: celui-ci dissout de l'isatine et il laisse l'hydrindine.

Dans une autre opération, en employant encore l'alcool, la potasse a dissous l'isathyde; mais elle n'a pas tardé à laisser déposer des cristaux noirs d'indinate de potasse.

Dans une autre opération, après avoir versé de la potasse et de l'alcool sur l'isathyde, chauffé et ajouté de l'eau, rien ne s'est précipité; mais en évaporant pour chasser l'alcool, il s'est déposé une huile colorée en brun-rose, et de l'acide chlorhydrique versé dans la dissolution, en a précipité de l'isatine.

L'hydrindine obtenue avec la potasse et la sulsafathyde en cristaux brillants, possède les propriétés suivantes :

Elle est transparente, jaune pâle, insoluble dans l'eau, cristallisée en petits prismes courts, mais dont je n'ai pas pu déterminer la forme. Elle est un peu soluble dans l'alcool bouillant, qui l'abandonne par le refroidissement sous la forme de petits prismes qui présentent au microscope des rectangles dont deux angles opposés seulement sont plus ou moins profondément tronqués et font passer le rectangle à l'hexagone irrégulier ou au parallélogramme obliquangle.

L'acide nitrique bouillant la décompose; elle devient violette, pulvérulente et possède les propriétés de la nitrindine. L'acide sulfurique la dissout sans se colorer, et l'eau la précipite sans altération.

Soumise à l'analyse, elle a donné sur

III. 0,300,
0,770 d'acide carbonique,
0,129 d'eau;

II. 0,300,
0,772 d'acide,
0,131 d'eau;

III. 0,200 d'hydrindine obtenue en décomposant l'hydrindinate soyeux de potasse par l'eau et quelques gouttes d'acide chlorhydrique, ont donné
0,508 d'acide carbonique,
0,088 d'eau.

IV. 0,200 ont donné $17^{c.c.}$ d'azote à 0° et à $0^{m},760$, ce qui fait en centièmes :

		Calculé.	Trouvé. I.	II.	III.
C^{32}...	1200	70,25	70,0	70,20	69,2
H^{12}...	81	4,78	4,8	4,85	4,9
Az^2...	177	10,36	10,7	10,70	10,7
$O^{\frac{1}{2}}$....	250	14,61	14,5	14,25	15,2
	1708	100,00	100,0	100,00	100,0

Cette analyse est confirmée par l'action que la chaleur exerce sur ce composé. On voit qu'il peut se représenter par de l'indine, plus un demi-atome d'eau,

$$C^{32}H^{12}Az^2O^2 + HO^{\frac{1}{2}}.$$

En le chauffant dans une capsule, et en agitant continuellement, il devient peu à peu brun violacé. La décomposition est complète lorsqu'on l'a chauffé à plusieurs reprises, jusqu'à lui faire éprouver un commencement de fusion. La température nécessaire doit dépasser 300°. En traitant par la potasse et un peu d'alcool le résidu, on obtient des cristaux noirs d'indinate de potasse qui se transforment en indine rose par l'addition de l'eau.

Cette expérience ne doit cependant pas faire considérer l'hydrindine comme une combinaison d'eau et d'indine, parce que la température nécessaire pour la décomposer est beaucoup trop élevée, et parce qu'elle forme avec la potasse un sel blanc, tandis que l'indine forme un sel noir. Il est vrai que l'indine peut aussi donner des cristaux soyeux d'hydrindinate de potasse, mais c'est après avoir d'abord formé de l'indinate; celui-ci se transforme ensuite par l'ébullition en hydrindinate, en absorbant un demi-atome d'eau.

En versant de la potasse sur de l'hydrindine, et en chauffant, celle-ci se dissout. Par le refroidissement, les aiguilles soyeuses d'hydrindinate se déposent; si l'on y ajoute de l'alcool, ces aiguilles se dissolvent, et, en versant peu à peu de l'eau dans la dissolution alcoolique, les aiguilles se déposent de nouveau en formant une masse volumineuse, qui, jetée sur un filtre et lavée, se tasse considérablement, en se décomposant et en laissant l'hydrindine. Si l'on dissout celle-ci dans un grand excès de potasse, l'eau ne dé-

compose plus le sel, mais l'acide chlorhydrique en précipite l'hydrindine.

Le peu de stabilité du sel potassique ne m'a pas permis de déterminer, même approximativement, la quantité de base qu'il renferme. On peut supposer, par analogie, que l'hydrindine, en se combinant avec la potasse, absorbe un atome d'eau pour former l'acide hydrindinique, dont la formule serait

$$C^{32}H^{13}Az^2O^{\frac{7}{2}}.$$

L'hydrindine ne différant de l'indine que par un demi-atome d'eau, et se formant dans presque les mêmes circonstances qu'elle, on doit pouvoir expliquer la formation de ces deux corps de la même manière :

1°. L'indine, chauffée assez longtemps avec de la potasse, forme l'hydrindine,

$$C^{32}H^{12}Az^2O^2 + KO + HO^{\frac{1}{2}} = C^{32}H^{13}Az^2O^{\frac{5}{2}} + KO;$$

2°. Par la sulfasathyde et la potasse,

$$C^{32}H^{13}Az^2O^4S + KO + HO^{\frac{1}{2}} = C^{32}H^{13}Az^2O^{\frac{5}{2}} + SO^3K.$$

3°. Par l'isathyde et la potasse. Il se forme en même temps de l'isatine, ou plutôt de l'isatinate de potasse,

$$3(C^{16}H^{13}Az^2O^4) = 2(C^{16}H^{10}Az^2O^4) + C^{16}H^{13}Az^2O + \tfrac{3}{2}H^2O.$$

Nitrindine.

Ce composé se forme en faisant bouillir l'indine avec l'acide nitrique. Des vapeurs rouges se dégagent, et l'indine se trouve changée en une poudre violette qui est la nitrindine. Si l'on poussait l'opération trop loin, tout se dissoudrait, et l'eau versée dans la dissolution jaune n'en précipiterait qu'une petite quantité d'une matière jaune.

La nitrindine, pour être purifiée, doit d'abord être lavée avec de l'eau, puis avec de l'alcool bouillant et de l'éther qui enlèvent une petite quantité de cette matière jaune.

La nitrindine peut encore se préparer en faisant bouillir l'hydrindine avec l'acide nitrique. On obtient peut-être encore le même composé avec l'isathyde et la sulfasathyde

qui donnent, avec l'acide nitrique, des poudres rouge violacé.

La nitrindine est pulvérulente, d'un rouge violacé assez éclatant. Chauffée en vase clos, elle se décompose brusquement, en laissant un volumineux résidu de charbon qui entre en ignition sans le contact de l'air. Elle est insoluble dans l'eau. L'alcool et l'éther n'en dissolvent que des traces. L'acide nitrique bouillant la détruit peu à peu. L'ammoniaque est sans action. La potasse la dissout en se colorant en brun très-intense ; de l'acide chlorhydrique, versé dans cette dissolution, paraît en précipiter la nitrindine non altérée; quelquefois on n'obtient qu'un précipité jaunâtre, floconneux; ce dernier effet a toujours lieu quand on fait fait bouillir la dissolution potassique.

I. 0,220 de nitrindine rouge violacée, préparée avec l'indine, ont donné
0,423 d'acide carbonique,
0,050 d'eau;

II. 0,264 violette préparée avec l'hydrindine, ont donné
0,502 d'acide,
0,060 d'eau;

III. 0,240 ont donné 32$^{c.c.}$ d'azote à 0^{m},763 et à 19°.

			Trouvé.	
		Calculé.	I.	II.
C^{32}	1200	52,08	52,43	51,85
H^{8}	50	2,20	2,52	2,52
Az^{4}	354	15,40	15,50	15,50
O^{7}	700	30,32	29,55	30,13
	2304	100,00	100,00	100,00

Cette formule représente de l'indine, dont 2 équivalents d'hydrogène sont remplacés par 1 équivalent d'acide nitrique; mais un tel résultat ne se conçoit guère, il vaut mieux le représenter par de l'indine, dont 2 équivalents d'hydrogène ont été remplacés par 1 d'acide hypoazotique et par 1 d'oxygène ($X = Az^{2}O^{5}$).

Indine... $C^{32}H^{12}Az^{2}O^{2} = C^{32}(H^{8}XO)Az^{2}O^{2}$.

Action du brome sur la sulfésathyde, bromindine, bibromindine, etc.

En versant du brome sur de la sulfésathyde, il y a une réaction très-vive, accompagnée d'un dégagement d'acide hydrobromique et de bromure de soufre. On obtient une masse molle, brune, qui est un mélange de deux substances principales et d'une petite quantité d'une matière brune résineuse. Pour les séparer, on les traite par l'éther qui dissout la résine, et une matière jaune-orange cristalline qui n'est pas du bromisatinase ou du bromisatinèse; il reste une poudre d'un violet noirâtre. Celle-ci paraît être la bibromindine de M. Erdmann; il n'a pas donné la description de ses propriétés, il s'est contenté de dire qu'elle a une couleur rouge noirâtre foncé et qu'elle se forme lorsque l'on chauffe la bibromisathyde. Comme elle est probablement analogue à la bichlorindine et à la chlorindine, voici les propriétés que M. Erdmann assigne à cette dernière: elle est pulvérulente, violette, insoluble dans l'eau, l'alcool et l'acide hydrochlorique, soluble, au contraire, dans la potasse caustique, avec une couleur jaunâtre. La solution alcaline donne par l'acide chlorhydrique un précipité jaune, qui se dissout dans l'eau bouillante.

Voici les propriétés que j'ai trouvées à mon corps violet noirâtre.

Chauffé entre deux couvercles de platine, il se comporte à peu près comme l'indigo. Il laisse un volumineux résidu de charbon qui a conservé la forme du corps employé; ce charbon est recouvert de paillettes brillantes cuivrées, qui paraissent violettes vues par transparence au microscope. Il est peu soluble dans l'alcool et dans l'éther. Une dissolution concentrée de potasse lui donne une teinte noirâtre; si l'on étend d'eau et si l'on fait bouillir, la bibromindine L. (pour la distinguer de celle de M. Erdmann si elle était différente) se dissout lentement en donnant une liqueur jaunâtre; un acide versé dans cette dissolution donne un précipité jaune floconneux. Mais si l'on traite la bibromindine L. par un fragment de potasse et de l'alcool, on obtient par l'ébullition une dissolution d'un rouge noirâtre, et en y versant de l'eau il se dépose des flocons violets de bibromindine L. Cette même dissolution alcoolique, neutralisée par l'acide chlorhydrique, donne également des flocons violets.

La bibromindine L., comme on le voit, a beaucoup d'analogie avec l'indine. Celle-ci forme avec la potasse, tantôt une dissolution noirâtre qui donne par l'eau ou par les acides un précipité rose carmin d'indine, tantôt une dissolution légèrement jaunâtre, qui donne par l'eau ou par les acides un précipité floconneux jaunâtre d'hydrindine.

M. Erdmann, en traitant la chlorisatyde par la potasse, a obtenu du chlorisatinase, de la chlorindine et un corps jaune qu'il nomme acide chlorisatinique B. Ce corps serait isomère avec l'acide chlorisatinique (chlorisatinasique).

La bichlorisathyde, traitée par la potasse, lui a donné de l'acide bichlorisatinique, de la bichlorindine et un corps jaunâtre qu'il nomme acide bichlorisatinique B. et qui est isomère avec l'acide bichlorisatinique (chlorisatinésique); il est difficile de se rendre compte de la formation de tous ces composés à l'aide de la composition que M. Erdmann leur assigne.

La bibromindine L. a probablement la formule suivante:

$$C^{32}H^{8}Br^{4}Az^{2}O^{2}.$$

Cette hypothèse est confirmée par la réaction que le brome exerce sur l'indine; il se dégage de l'acide hydrobromique, et l'on obtient une poudre violette qui a exactement les mêmes propriétés que la bibromindine L. obtenue avec le brome et la sulfésathyde.

Consultons maintenant l'analogie et voyons ce qui se passe avec l'isathyde et la potasse.

On obtient de l'isatine et de l'hydrindine et quelquefois de l'indine. Mais comme celle-ci ne diffère que par $\frac{1}{2}$ atome d'eau de l'hydrindine, je supposerai que la potasse et l'isathyde donnent: 1° de l'isatine (ou de l'isatinate de KO); 2° de l'indine (ou de l'indinate); 3° de l'hydrindine (ou de l'hydrindinate). Avec la bichlorisathyde, M. Erdmann a obtenu: 1° du chlorisatinèse, 2° de la bichlorindine; 3° de l'acide chlorisatinasique B. Voyons si l'acide chlorisatinasique B., au lieu d'être un isomère de l'acide chlorisatinasique, n'aurait pas une formule analogue à celle de l'hydrindine, ou plutôt de l'acide hydrindique. La formule de l'hydrindine étant

$$C^{32}H^{13}Az^{2}O^{\frac{5}{2}},$$

celle de l'acide hydrindinique serait

$$C^{32}H^{11}Az^{2}O^{\frac{7}{2}};$$

par conséquent celle de l'acide bichlorhydrindinique ser

$$C^{32}H^{11}Cl^{4}Az^{2}O^{\frac{7}{2}}.$$

Cette formule donne en centièmes

C^{32}.....	1200	44,7
H^{11}.....	68	2,5
Cl^{4}.....	885	
Az^{2}.....	177	
$O^{\frac{7}{2}}$.....	350	
	2680	

Les analyses de M. Erdmann donnent en moyenne

Carbone.....	44,3
Hydrogène.....	2,4

il en a déduit la formule suivante :

$$C^{32}H^{10}Cl^{4}Az^{2}O^{4}.$$

Nous savons déjà que cette formule n'est pas celle de l' chlorisatinésique, ni celle du chlorisatinèse, qui renf seulement 1,4 d'hydrogène et cette formule donnerait

C^{32}.....	1200	44,0
H^{10}.....	62	2,3
Cl^{4}.....	885	
Az^{2}.....	177	
O^{4}.....	400	
	2724	

Il est vrai qu'en décomposant l'hydrindinate de p par l'eau ou les acides, je n'ai pas obtenu l'acide hydr nique, mais l'hydrindine. M. Erdmann, en décomposa bichlorhydrindinate, aurait obtenu l'acide bichlorhy

dinique. Il faut remarquer que l'isatinate et le chlorisatinasate de potasse donnent, par les acides, l'isatine et le chlorisatinase, tandis que le bichlorisatinate (chlorisatinésate) de potasse donne, par les acides, l'acide chlorisatinésique.

Les formules suivantes expliquent les réactions qui ont lieu en traitant l'isathyde, le chlorisathydase, le chlorisathydèse, le bromisathydase et le bromisathydèse par la potasse.

Je suppose que c'est l'isatine, l'indine et l'hydrindine qui se forment, tandis que, en réalité, c'est un isatinate, un indinate et un hydrindinate de potasse. Il faudrait ajouter de l'eau à tous ces corps.

1° *Isathyde.*

$$3\ C^{32}H^{12}Az^2O^4 = 2\ C^{32}H^{10}Az^2O^4 + C^{32}H^{12}Az^2O^2 - 2H^2O,$$

Isatine. Indine.

$$\text{ou} \quad = 2\ C^{32}H^{10}Az^2O^4 + C^{32}H^{12}Az\ O^{\frac{5}{2}} + \tfrac{1}{2}H^2O,$$

Hydrindine

ou bien un mélange.

2° *Chlorisathydase.*

$$3\ C^{32}H^{10}Cl^2Az^2O^4 = 2\ C^{32}H^8Cl^2Az^2O^4 + C^{32}H^{10}Cl^2Az^2O^2 + 2H\ O$$

Chlorisatinase. Chlorindinase.

$$\text{ou} \quad = 2\ C^{32}H^8Cl^2Az^2O^4 + C^{32}H^{11}Cl^2Az^2O^{\frac{3}{2}} + \tfrac{1}{2}H^2O$$

Chlorhydrindinase.

ou bien = un mélange.

3° *Chlorisathydèse.*

$$3\ C^{32}H^6Cl^4Az^2O^4 = 2\ C^{32}H^4Cl^4Az^2O^4 + C^{32}H^2Cl^4Az^2O^2 + 2H^2O,$$

Chlorisatinèse. Chlorindinèse.

$$\text{ou} \quad = 2\ C^{32}H^6Cl^4Az^2O^4 + C^{32}H^3Cl^4Az^2O^{\frac{3}{2}} + \tfrac{1}{2}H^2O,$$

Chlorhydrindinèse.

$$\text{ou mieux} \quad = 2\ C^{32}H^6Cl^4Az^2O^4 + C^{32}H^{11}Cl^4Az^2O^{\frac{7}{2}} + \tfrac{1}{2}H^2O,$$

Ac. chlorhydrindinésique.

ou bien + un mélange.

Les composés bromés donneraient de semblables réactions.

Action de l'ammoniaque sur l'isatine, etc. Acides chlorophénisique et chlorindoptique.

L'ammoniaque, en agissant sur l'isatine, donne nais-

sance à plusieurs combinaisons très-remarquables. La nature des produits varie suivant la concentration de l'ammoniaque et suivant le dissolvant de l'isatine. Mais dans tous les cas, on obtient des mélanges dont il n'est pas toujours facile d'isoler les différents corps qui les constituent. En général, on peut assez facilement purifier le produit dominant dans le mélange. Tous les composés que l'on obtient peuvent se représenter par de l'isatine, dont 1 ou 2 équivalents d'oxygène sont remplacés par 1 ou 2 équivalents d'amide ou d'un corps hypothétique que j'ai nommé *imide*. C'est ce corps qui entre dans la benzimide, et dans la phtalimide. Pour former les noms de ces composés, je dis *imasatine*, *imésatine*, lorsqu'un ou deux équivalents d'oxygène sont remplacés par un ou deux équivalents d'imide $=HAz=Im$; et *ama*, *amésatine*, lorsque l'oxygène est remplacé par un ou deux équivalents d'amide $=H^4Az^2=Am$.

Imésatine.

Pour préparer ce composé, on dissout de l'isatine dans l'alcool absolu et bouillant; on ajoute même un léger excès d'isatine pulvérisée. On fait ensuite passer dans cette dissolution chaude un courant de gaz ammoniac sec. L'isatine pulvérisée en excès ne tarde pas à se dissoudre; il faut retirer le feu aussitôt que le gaz commence à passer dans la dissolution. L'ammoniaque est promptement absorbée; lorsqu'elle cesse de se dissoudre, on abandonne la dissolution à elle-même pendant 6, 12 à 24 heures. Il se dépose de beaux cristaux d'un jaune-brun, qui peuvent être mêlés d'une autre substance pulvérulente, cristallisée en paillettes jaunes, brillantes et microscopiques. Il faut donc décanter la dissolution, lorsqu'il s'est formé une suffisante quantité de gros cristaux, afin qu'ils ne se trouvent pas mêlés avec ces paillettes. Cependant, si l'on obtenait un mélange, on pourrait en séparer l'imésatine qui constitue les gros cristaux, en le traitant par l'alcool bouillant. L'imésatine, quoique déposée la première, se dissoudrait beaucoup plus facilement que les paillettes. On pourrait encore séparer celles-ci par l'agitation avec l'alcool, et la décantation qui entraînerait les paillettes.

L'imésatine est colorée en jaune foncé, inodore, inso-

luble dans l'eau ; elle se présente sous la forme de prismes droits à base rectangulaire, mais qui, malheureusement, n'offrent pas la plus légère modification sur les angles et sur les arêtes. Il eût été très-intéressant de voir si elle est isomorphe avec l'isatine et la chlorisatine.

L'alcool bouillant la dissout assez bien, l'éther très-difficilement.

Lorsqu'on la chauffe, elle fond en se boursouflant et en se décomposant en même temps. Il se dégage de l'ammoniaque ; dans le bec de la cornue il se dépose des lamelles blanches carrées ; dans le cul on trouve une matière brune rougeâtre, en partie cristallisée, et il reste une grande quantité de charbon.

En la chauffant avec un peu d'alcool et d'acide hydrochlorique, elle se dissout facilement. Par le refroidissement il se dépose des cristaux d'isatine, et en évaporant la dissolution il reste de l'hydrochlorate d'ammoniaque.

La potasse la dissout en se colorant en brun-rouge ; par l'ébullition, il se dégage de l'ammoniaque, et si l'on neutralise la potasse par un acide, il se dépose de l'isatine.

L'imésatine, soumise à l'analyse, m'a donné sur

I. 0,300
0,718 d'acide carbonique,
0,116 d'eau ;

II. 0,300
0,717 d'acide,
0,115 d'eau.

III. 0,200 ont fourni $33^{c.c.}$ d'azote à $0^{m},765$ et à 19°.

Ce qui fait $30^{c.c.},3$ à $0^{m},760$ et à 0°, ou 19,21, sur cent parties.

On a donc en centièmes,

		Calculé.	Trouvé. I.	Trouvé. II.
C^{22}....	1200	65,55	65,27	65,20
H^{12}....	75	4,10	4,29	4,25
Az^{4}....	354	19,35	19,21	19,21
O^{2}.....	200	11,00	11,23	11,34
		100,00	100,00	100,00

Cette formule peut se représenter par de l'isatine dont

2 équivalents d'oxygène seraient remplacés par 2 équivalents d'imide $C^{32}H^{10}Az^2O^2,Im^2$,

$$C^{32}H^{10}Az^2O^4+H^6Az^2=C^{32}H^{10}Az^2O^2,H^2Az^2+H^2O.$$

Comme on l'a vu plus haut, sous l'influence des acides et des bases, elle peut régénérer l'isatine, en décomposant un équivalent d'eau.

Une dissolution d'isatine dans l'alcool ordinaire donne, sous l'influence du gaz ammoniac sec, deux ou trois produits que je n'ai pas suffisamment étudiés, mais sur lesquels je me propose de revenir dans un autre Mémoire.

Imasatine.

Lorsque, dans une dissolution d'isatine dans l'alcool ordinaire, renfermant même un excès d'isatine, on verse de l'ammoniaque liquide ordinaire, la liqueur prend une couleur rouge carminée très-foncée. Il paraît qu'il se forme d'abord de l'isatinate d'ammoniaque, car l'isatine en excès se dissout, et si l'on neutralise l'alcali par un acide, il se forme un précipité d'isatine. Mais si l'on abandonne la dissolution ammoniacale à elle-même, dans un lieu chauffé à 40 ou 50°, il se forme peu à peu, dans l'espace de quelques jours, un dépôt gris cristallin, ou bien formé de grains bruns arrondis.

Ce même composé peut encore s'obtenir en faisant bouillir la dissolution ammoniacale ; il se forme bientôt un dépôt brun, mou, résineux, qui est le même que le précédent, mais il a besoin d'une purification. Pour cela, on le fait dissoudre dans la plus petite quantité possible de potasse ; à l'aide de la chaleur, on étend la dissolution avec de l'alcool. On filtre, s'il est nécessaire, on chauffe de nouveau, et pendant que la liqueur est chaude, on la neutralise avec de l'acide hydrochlorique. Par le refroidissement il se dépose des grains cristallins d'imasatine. On les lave d'abord avec un peu d'alcool, puis avec de l'eau pour dissoudre le chlorure de potassium.

L'imasatine est d'un jaune grisâtre, tirant souvent sur le brun ou le verdâtre, à cause de la présence d'une petite quantité de matières étrangères. Elle est tantôt cristallisée en grains lamelleux, tantôt formée de petites sphères ra-

diées plus foncées. Elle est insoluble dans l'eau et dans l'éther.

L'alcool bouillant n'en dissout qu'une très-petite quantité.

Par la chaleur, elle se décompose au moment où elle commence à entrer en fusion. Il se dégage de l'ammoniaque accompagnée d'une odeur infecte. Il se sublime une matière blanche cristallisée en rhombes très-aigus et qui s'allongent tellement, qu'ils se transforment en aiguilles. Dans la cornue il reste une grande quantité de charbon.

L'acide hydrochlorique bouillant ne la décompose pas. L'acide sulfurique concentré la dissout; l'eau forme dans cette dissolution un précipité blanchâtre gélatineux. Mais si au lieu d'étendre la liqueur avec de l'eau, on l'abandonne à l'air, l'acide sulfurique, en absorbant l'humidité, laisse déposer des grains arrondis radiés qui paraissent être de l'imasatine.

La potasse caustique la dissout en se colorant un peu en brun; cette dissolution, étendue d'eau et neutralisée par un acide, donne un précipité blanchâtre gélatineux. Le brome en dégage de l'acide hydrochlorique et il se forme une matière jaune assez soluble dans l'alcool.

L'acide nitrique bouillant la décompose; la dissolution étendue d'eau donne un précipité jaune floconneux très-abondant.

Soumise à l'analyse, elle a donné sur

I. 0,330
0,783 d'acide carbonique,
0,117 d'eau;

II. 0,300
0,718 d'acide,
0,105 d'eau;

III. 0,400 ont dégagé $48^{c.c.}$ d'azote à 12° et à $0^{m},767 = 45^{c.c.}$ à $0^{m},760$ et à 0°.

Ce qui fait sur cent parties

		Calculé.	Trouvé. I.	Trouvé. II.
C^{32}.....	1200,0	65,40	64,71	65,27
H^{11}.....	68,5	3,73	3,99	3,88
Az^{3}.....	265,0	14,44	14,40	14,40
O^{3}.....	300,0	16,43	16,90	16,45
	1833,5	100,00	100,00	100,00

C'est de l'isatine dont un équivalent d'oxygène a été remplacé par un équivalent d'imide

$$C^{32}H^{10}Az^2O^3,OIm.$$

Elle se produit par la réaction d'un demi-équivalent d'ammoniaque sur un équivalent d'isatine

$$C^{32}A^{10}Az^2O^4 + H^3Az = C^{32}H^{10}Az^3O^3, HAz + H^2O.$$

Ce composé analogue, par sa composition, à la benzimide et à la phtalimide, ne régénère cependant pas l'isatine sous l'influence des bases ou des acides.

Amasatine.

En faisant réagir l'ammoniaque liquide, avec ou sans alcool, sur de l'isatine, à l'aide d'une chaleur modérée, pendant plusieurs heures, il se forme, outre l'imasatine qui se dépose, deux autres composés qui restent dans la dissolution, l'amasatine et l'acide imasatique. On les sépare de la manière suivante : après avoir filtré l'imasatine, on évapore la dissolution pour chasser l'alcool et l'ammoniaque; pendant cette opération il se dépose encore de l'imasatine accompagnée d'une matière jaune qui peut renfermer de l'amasatine. On étend un peu d'eau et l'on filtre pour séparer ce dépôt. La dissolution est de nouveau concentrée, puis décomposée par la plus petite quantité possible d'acide hydrochlorique; aussitôt il se forme un abondant précipité rouge-orange, qui est un mélange d'acide imasatique rouge et d'amasatine jaune. On jette ce précipité, qui renferme souvent de l'isatine, sur un filtre, on le lave avec peu d'eau, puis on y verse une très-petite quantité d'ammoniaque étendue d'eau. Cet alcali dissout l'acide imasatique, et le précipité resté sur le filtre prend aussitôt une belle couleur jaune. S'il renferme de l'isatine, on le fait bouillir avec de l'alcool qui dissout l'isatine et laisse l'amasatine.

Cette substance est d'un très-beau jaune, pulvérulente, inodore, insipide.

Par la chaleur, elle se décompose en même temps qu'elle entre en fusion. Il se dégage d'abord de l'eau et de l'ammoniaque. Si l'on arrête alors l'opération, le résidu se dissout entièrement dans la potasse; mais si l'on continue à chauffer, il se dégage une matière épaisse en partie cristalline, et il reste une grande quantité de charbon.

Elle est presque insoluble dans l'éther ; ce dissolvant pourrait donc être employé pour la séparer de l'acide imasatique qui y est assez soluble.

L'alcool en dissout très-peu.

L'acide sulfurique la dissout à froid en prenant une belle couleur violette foncée ; il se forme probablement de l'acide imasatique.

L'acide hydrochlorique la dissout très-facilement en se colorant en violet, et la transforme en acide imasatique. Voilà pourquoi, lorsque l'on veut précipiter l'amasatine et l'acide imasatique de leur dissolution ammoniacale, il ne faut pas employer un excès d'acide hydrochlorique, qui décomposerait l'amasatine.

L'acide nitrique la dissout immédiatement à froid en prenant une couleur violette, mais qui ne tarde pas à passer au jaune, surtout par l'ébullition ; alors l'eau en précipite une matière jaune floconneuse.

Elle est insoluble dans l'eau froide ; mais, par une ébullition prolongée, elle se dissout en dégageant une faible odeur ammoniacale ; par l'évaporation l'on obtient une matière jaune cristalline qui est de l'imasatate d'ammoniaque accompagné d'une petite quantité d'acide imasatique.

La potasse décompose déjà à froid l'amasatine ; il se dégage de l'ammoniaque, et par l'ébullition l'on obtient de l'imasatate de potasse.

Soumise à l'analyse, elle a donné sur

I. 0,300
0,683 d'acide carbonique,
0,125 d'eau ;

II. 0,287
0,648 d'acide,
0,116 d'eau ;

III. 0,200 ont donné 31$^{c.c.}$ d'azote à 0^{m},760 et à 18°.

Ce qui fait sur cent parties

		Calculé.	Trouvé. I.	Trouvé. II.
C^{32}.....	1200	61,8	61,9	61,58
H^{14}.....	87	4,4	4,6	4,45
Az^{4}.....	354	18,2	17,9	17,90
O^{3}.....	300	15,6	15,6	16,07
		100,0	100,0	100,00

L'amasatine peut être regardée comme de l'isatine dont un équivalent d'oxygène serait remplacé par un équivalent d'amide $C^{32}H^{10}Az^2O^3Am$,

$$C^{32}H^{10}Az^2O^4 + H^6Az^2 = C^{32}H^{10}Az^2O^3, H^4Az^2 + H^2O.$$

Acide imasatique.

On a vu dans le paragraphe précédent que l'isatine donnait avec l'ammoniaque liquide au moins trois corps différents : l'imasatine qui se dépose la première, et un mélange d'amasatine et d'acide imasatique en dissolution dans l'ammoniaque. Après avoir concentré cette dissolution, on y verse de l'acide hydrochlorique qui donne, suivant la quantité d'acide hydrochlorique employée, un précipité qui renferme ou de l'acide imasatique, ou un mélange de ce corps avec l'amasatine. Dans tous les cas, on verse sur le précipité rouge orangé la plus petite quantité possible d'ammoniaque étendue d'eau. L'acide imasatique se dissout, et il reste ordinairement de l'amasatine mêlée d'isatine. On concentre la dissolution ammoniacale, puis on la neutralise par l'acide hydrochlorique. Immédiatement, ou bien après quelques minutes, il se forme un précipité rouge vif d'acide imasatique, on le jette sur un filtre et on le lave avec une petite quantité d'eau. On le dissout ensuite dans l'alcool bouillant qui le laisse cristalliser par le refroidissement ou par l'évaporation spontanée. L'acide imasatique se présente sous la forme de lamelles rhomboïdales, très-nettes, d'un très-grand éclat et d'une grande beauté. Sa couleur est semblable à celle du bi-iodure rouge de mercure sublimé. Les cristaux obtenus par l'évaporation spontanée sont plus épais, hexagonaux, et ils ont la couleur du rubis.

Il est un peu soluble dans l'eau bouillante, qui se colore en jaune.

L'acide sulfurique ordinaire le dissout en prenant une belle couleur violette; quelques gouttes d'eau jaunissent la dissolution, qui ne tarde pas à laisser déposer des cristaux d'acide imasatique. Si l'on a dissous l'acide imasatique dans une petite quantité d'acide sulfurique faible, on obtient par l'évaporation des aiguilles violettes.

L'acide hydrochlorique dissout facilement cet acide en se colorant en beau violet. La dissolution évaporée donne

des aiguilles violettes qui deviennent rouges par le contact de l'eau.

L'acide nitrique le dissout en se colorant d'abord en violet ; mais presque aussitôt cette couleur devient jaune. Si l'on met peu d'acide nitrique, et si l'on chauffe seulement jusqu'à ce que la couleur violette disparaisse, on obtient par le refroidissement un nouveau corps cristallisé en aiguilles jaunes, microscopiques, insoluble dans l'eau, mais soluble dans l'alcool.

L'imasatate d'ammoniaque ne donne pas de précipité avec les sels de barium, calcium et magnésium.

Il se forme avec

L'alun, un précipité jaune-orange ;
L'acétate de plomb, un précipité jaune-orange ;
Bichlorure de mercure, un précipité rouge ;
Nitrate d'argent, un précipité jaune.

Le brome décompose l'acide imasatique. Il se forme une matière jaune, assez soluble dans l'alcool, d'où elle se dépose sous la forme de mamelons ; ce n'est pas du bromisatinase ou du bromisatinèse : elle ne se dissout pas dans l'ammoniaque. La potasse forme avec elle une dissolution rouge violacée assez intense dans les premiers moments, et dans laquelle les acides forment un précipité jaune-orange.

I. 0,250 d'acide imasatique ont donné
0,567 d'acide carbonique,
0,098 d'eau ;

II. 0,200
0,454 d'acide,
0,080 d'eau ;

III. 0,150 ont donné $17^{c.c.},5$ d'azote à $0^{m},760$ et à 20° ;

d'où l'on tire

		Calculé.	Trouvé. I.	Trouvé. II.
C^{32}.....	1200	61,7	61,85	61,95
H^{13}.....	81	4,2	4,35	4,45
Az^{3}.....	265	13,6	13,45	13,45
O^{4}.....	400	20,5	20,35	20,15
	1946	100,0	100,00	100,00

Cet acide possède une composition très-remarquable,

On voit qu'il peut se représenter par un équivalent d'isatine uni à un demi-équivalent d'ammoniaque

$$C^{32}H^{10}Az^2O^4 + H^3Az;$$

mais il n'est pas probable que ce composé renferme de l'ammoniaque, et si nous consultons l'analogie, nous pourrons le représenter, ainsi que les corps précédents, comme une combinaison d'imide, c'est-à-dire par

$$C^{32}H^{10}Az^2O^3, HAz + H^2O.$$

Tous les composés précédents sont neutres, celui-ci est acide. On pourrait en trouver la raison en le comparant à l'isatine et à l'acide isatinique. La première, qui est neutre, devient acide en absorbant un atome d'eau qui ne peut pas être éliminée par les bases. L'acide imasatique renferme les éléments de l'imasatine qui est neutre, plus un atome d'eau qui l'acidifie. Il resterait à savoir si cet atome d'eau peut être remplacé ou non par une base. Le peu d'acide que je possédais ne m'a pas permis de résoudre cette question. Voici les résultats d'un essai que j'ai fait sur l'imasatate d'argent.

0,250 de sel d'argent ont donné
0,440 d'acide carbonique,
0,066 d'eau;
0,200 ont laissé par la calcination un résidu d'argent métallique qui pesait 0,049.

Ce qui fait en centièmes :

Carbone	48,0
Hydrogène	2,9
Argent	24,5

Ces nombres se rapprochent de la formule suivante :

C^{32}	1200	45,8
H^{12}	75	2,8
Az^3	265	»
O^4	400	»
$Ag^{\frac{1}{2}}$	675	25,5
	2615	100,0

Elle représente un équivalent d'acide imasatique dont un

demi-équivalent d'eau serait remplacé par un demi-équivalent d'oxyde d'argent.

$$2C^{32}H^{10}Az^2O^2Im + \begin{matrix} H^2O \\ AgO \end{matrix}.$$

On a vu plus haut que l'amasatine traitée par les acides ou par les alcalis, et même par l'eau bouillante, pouvait se changer en acide imasatique. Cette transformation a lieu parce que l'amasatine perd un demi-équivalent d'ammoniaque en absorbant un atome d'eau.

$$C^{32}H^{10}Az^2O^6,H^4Az^2 + H^2O = C^{32}H^{10}Az^2O^6,HAz,H^2O + H^4Az.$$
Amasatine.

Les rapports de composition que je viens de signaler entre l'amasatine et l'acide imasatique, me paraissent exister également entre le chloranilammon et le chloranilam. Suivant M. Erdmann, la formule du premier est

$$C^{12}Cl^2O^2 + H^6Az^2,$$

et celle du second,

$$C^{12}Cl^2O^2 + H^3Az.$$

Ces deux composés donnent avec le nitrate d'argent un précipité auquel M. Erdmann assigne une des deux formules suivantes : $C^{18}Cl^3H^2O^4$, AgO, ou bien $C^{24}Cl^4O^6$, AgO.

La première ne s'explique pas; la seconde représenterait du chloranilate d'argent; mais on ne peut en retirer de l'acide chloranilique, et l'analyse a donné de l'hydrogène qui ne figure pas dans la formule.

Si nous regardons le chloranilammon comme une amide $C^{12}Cl^2O^2Am^4 + H^2O$, et le chloranilam comme une imide $C^{12}Cl^2O^2Im + H^2O$, nous pourrons considérer le sel d'argent comme un corps analogue à l'imasatate d'argent,

$$2\ C^{12}Cl^2O^2Im + \begin{matrix} AgO \\ H^2O \end{matrix}.$$

Dans cette hypothèse, il doit renfermer

		Formule Erdmann.		Analyse.
C^{24}.....	22,7	C^{24}.....	23,4	21,5
Cl^4.....	22,4	Cl^4.....	23,0	21,1
O^5.....	13,0	O^6.....	15,9	»
H^4.....	0,6	»	»	0,6
Az^2.....	4,5	»	»	»
AgO.....	36,8	AgO.....	37,7	36,7
	100,0		100,0	

L'analyse de M. Erdmann se rapproche beaucoup plus de ma formule que de la sienne, mais je suis obligé de supposer que ce sel renferme de l'azote.

Iméchlorisatinase.

L'analogie qui existe entre l'isatine, le chlorisatinase, le bromisatinèse, etc., ne se dément dans aucune circonstance, et l'action que l'ammoniaque exerce sur ces derniers vient la confirmer. Ayant fait dissoudre à chaud du chlorisatinase dans de l'alcool absolu, j'y fis passer un courant de gaz ammoniac sec. Après quelques heures de repos, il se forma une matière jaune cristalline que je séparai de la dissolution, sans attendre que tout fût déposé, de peur d'avoir des mélanges. Ce dépôt filtré, lavé à l'alcool et desséché, possède les propriétés suivantes. Il est jaune, cristallisé en lamelles prismatiques hexagonales. L'alcool bouillant n'en dissout que très-peu en se colorant en jaune; il est presque insoluble dans l'éther.

L'eau bouillante le dissout difficilement, mais il paraît que ce n'est qu'en le décomposant, car il se dégage de l'ammoniaque.

La chaleur le décompose; il se forme de l'ammoniaque et une matière jaune cristallisée en aiguilles; il reste du charbon.

L'acide hydrochlorique étendu forme avec lui de l'hydrochlorate d'ammoniaque.

La potasse le dissout; en se colorant d'abord en rouge, par l'ébullition la liqueur devient jaune, de l'ammoniaque se dégage, et il se forme du chlorisatinasate de potasse, qui donne un précipité de chlorisatinase par l'acide hydrochlorique.

0,250 d'iméchlorisatinase ont donné
0.485 d'acide carbonique,
0,063 d'eau.
0,200 ont fourni $27^{c.c.}$ d'azote à $0^{m},759$ et à $18°$,

$= 24^{c.c.},7$ à $0^{m},760$ et à $0°$.

Ces nombres conduisent à cette formule :

		Calculé.	Trouvé.
C^{32}.....	1200	53,1	52,9
H^{10}.....	62	2,7	2,8
Az.....	354	15,7	15,6
O^2.....	200	8,9	»
Cl^2.....	442	19,6	»
	2258	100,0	100,0

Elle représente le chlorisatinase, dont 2 équivalents d'oxygène sont remplacés par 2 équivalents d'imide,

$$C^{32}H^8Cl^2Az^2O^2Im^2.$$

Par sa composition, par sa formation et ses propriétés, ce composé correspond à l'imésatine.

Imachlorisatinase.

Lorsque l'on fait bouillir du chlorisatinase avec de l'ammoniaque et de l'alcool, il se dissout assez facilement, et la liqueur prend une couleur brun-rouge.

Cette liqueur donne, au bout d'un ou deux jours, un dépôt formé de grains brun-jaune arrondis A. Ceux-ci séparés, l'eau versée dans la dissolution donne un précipité rouge pâle B, que l'on filtre; l'acide hydrochlorique y forme ensuite un précipité brun-rouge résineux C; enfin la solution acide évaporée laisse un dépôt jaune, moitié cristallin, moitié résineux D.

Les deux derniers dépôts C et D paraissent renfermer de la chlorisatinase, de l'imachlorisatinase et de l'acide imachlorisatinasique, mais en proportions différentes. Lorsqu'on les traite par la potasse, il se dégage de l'ammoniaque, et la solution potassique donne un précipité jaune rougeâtre par les acides. Si l'on traite ces dépôts C et D par l'acide hydrochlorique concentré, le tout prend une teinte violacée, comme lorsqu'on traite l'amasatine et l'acide amasatique par ce réactif; en étendant ensuite avec de l'eau et en neutralisant la liqueur trouble par l'ammoniaque, il reste une matière jaune qui paraît être le chlorisatinase, et, en versant un acide dans la solution ammoniacale, il se forme un précipité orangé, soluble et cristallisable en aiguilles jaunes dans l'alcool. Ce précipité doit être l'acide ima-

chlorisatinasique, car il se dissout subitement dans l'ammoniaque très-faible, ce qui n'a pas lieu avec les autres précipités.

Les dépôts A et B paraissent être les mêmes; je n'ai analysé que B. Pour le purifier, je l'ai fait bouillir avec de l'alcool qui a laissé une poudre légèrement rougeâtre, qui est de l'imachlorisatinase, comme le fait voir l'analyse suivante :

0,270 ont donné
0,520 d'acide carbonique,
0,067 d'eau,

qui correspond avec cette formule :

		Calculé.	Trouvé.
C^{32}.....	1200	53,0	52,5
H^{9}.....	56	2,5	2,7
Cl^{2}	442		
Az^{3}.....	265		
O^{3}.....	300		
	2263		

elle représente le chlorisatinase, dont 1 équivalent d'oxygène est remplacé par 1 équivalent d'imide,

$$C^{32}H^{8}Cl^{2}Az^{2}O^{3}Im.$$

Ses propriétés ressemblent d'ailleurs à celles de l'imasatine: comme elle, il est soluble dans la potasse caustique, sans dégagement d'ammoniaque, et cette solution donne par les acides un précipité blanchâtre gélatineux.

Imabromisatinèse.

Le bromisatinèse, mis en excès avec de l'alcool absolu et bouillant, puis soumis à un courant de gaz ammoniac, se dissout assez facilement; par le refroidissement il se dépose une poudre formée de paillettes jaune rougeâtre microscopiques, plus tard il se dépose une poudre plus rouge. Il ne faut donc pas attendre trop longtemps pour séparer le premier dépôt; celui-ci ne correspond pas à l'imésatine et à l'iméchlorisatinase obtenus dans les mêmes circonstances, mais à l'imasatine.

La chaleur en dégage une matière cristallisée en aiguilles;
L'alcool et l'éther n'en dissolvent que des traces;
L'acide hydrochlorique est sans action sur lui;

La potasse le dissout sans séparer de l'ammoniaque, et un acide versé dans la dissolution donne un précipité blanchâtre gélatineux.

0,300 ont donné

0,344 d'acide carbonique,

0,040 d'eau;

0,300 ont laissé dégager 19$^{c.c.}$ d'azote à 15° et à 0^{m},768;

d'où l'on tire

		Calculé.	Trouvé.
C^{32}.....	1200	31,8	31,3
H^{7}	44	1,2	1,4
Az^{3}.....	265	7,0	7,4
O^{3}	300		
Br^{4}.....	1956		
	3765		

$C^{32}H^{6}Br^{4}Az^{2}O^{3}Im.$

Acides chlorophénisique, chlorindoptique et chlorindoptique chloré.

Dans mon Mémoire sur la série du phényle, j'ai fait remarquer les singuliers rapports qui lient cette série avec celle de l'indigo, et j'ai insisté sur l'analogie qui existe entre l'acide chlorophénisique et l'acide chlorindoptique.

Pour constater l'identité de ces deux acides, je traitai suivant la méthode de M. Erdmann, le chlorisatinase en suspension dans l'alcool par un courant de chlore.

L'huile formée laissa déposer des cristaux jaunes qui avaient la forme de tables rhomboïdales droites; c'était du chloranil. L'huile soumise à la distillation donna une nouvelle huile, et, vers la fin de l'opération, de grandes aiguilles blanches, insolubles dans l'éther. Ce dernier produit n'a pas été signalé par M. Erdmann. Je l'ai purifié, en le lavant avec de l'éther, puis en le sublimant, mais je ne l'ai pas analysé.

L'huile distillée fut traitée par une dissolution de potasse; la liqueur soumise à l'ébullition, ayant été neutralisée par l'acide hydrochlorique, donna un précipité floconneux brunâtre, qui n'était pas de l'acide chlorindoptique chloré pur. Pour le purifier, j'ai employé la méthode suivante :

J'y ai versé de l'ammoniaque, et j'ai fait bouillir la com-

binaison avec une assez grande quantité d'eau, pour chasser l'excès d'alcali. Une matière huileuse, brune, s'étant déposée, j'ai filtré pour la séparer, et, par le refroidissement, il s'est déposé, tant à la surface de la liqueur qu'au fond du vase, de petites rosaces de chlorindoptate chloré d'ammoniaque qui est très-peu soluble dans l'eau. L'eau-mère laissa déposer plus tard de longues aiguilles de chlorindoptate d'ammoniaque.

Le chlorindoptate fut dissous dans l'eau, puis décomposé par l'acide hydrochlorique, qui donna un précipité d'acide chlorindoptique chloré. Celui-ci n'étant pas parfaitement blanc, on le soumit à la distillation.

Ainsi préparé, cet acide ressemble tellement à l'acide chlorophénisique, qu'il est très-difficile de l'en distinguer. Il est un peu moins fusible, et son sel ammoniacal est très-peu soluble. Du reste, il possède la même odeur si caractéristique, et il forme, avec tous les sels métalliques, les mêmes précipités, et parmi ceux-ci on remarque surtout celui que fournit le nitrate d'argent, qui est jaune, et celui de l'acétate de cuivre, qui est rouge violacé.

Soumis à l'analyse, il m'a donné sur

0,400
0,410 d'acide carbonique,
0,022 d'eau.

Ces nombres peuvent conduire à la formule suivante :

		Calculé.	Trouvé.
C^{24}.....	900,0	27,07	27,8
Cl^{10}.....	2213,0	66,50	»
H^{2}.....	12,5	0,37	0,6
O^{2}	200,0	6,06	»
	3325,5	100,00	

La quantité de carbone trouvée est un peu trop forte, de sorte que mon analyse se rapprocherait plus de la formule admise par M. Erdmann que de la mienne

C^{24}.....	27,6
Cl^{10}.....	68,3
H^{2}	0,4
O.....	3,7
	100,0

M. Erdmann a analysé seulement le sel d'argent qui renferme

		Calculé.	Trouvé.	Calculé d'après ma formule.	
C^{24}....	900	19,7	19,8	C^{24}....	19,3
Cl^{10}...	2213	48,5	46,8	Cl^{10}...	47,5
AgO...	1451	31,8	33,4	Ox....	2,2
	4564	100,0	100,0	AgO...	31,0
					100,0

Mais M. Erdmann a trouvé une petite quantité d'hydrogène, ce qui lui fait supposer naturellement que son acide chlorindoptique chloré renfermait encore un peu d'acide chlorindoptique.

Si cela est, il a dû trouver un peu plus de carbone et d'argent, et moins de chlore, ce qui s'accorde avec son analyse et avec ma formule; et si, pour faire accorder son analyse, quant à l'argent, avec sa formule, il est obligé de supposer que son acide chloré renfermait de l'acide chlorindoptique, elle ne s'accorde plus, dans cette hypothèse, quant au carbone; il aurait dû en trouver une plus grande quantité.

Mon analyse offre un petit excès de carbone et d'hydrogène; si je suppose que mon acide renfermait un peu d'acide chlorophénisique, son analyse s'accordera exactement avec la formule suivante :

C^{24}.....	900,0	27,60
$Cl^{9\frac{1}{2}}$.....	2148,0	65,80
$H^{2\frac{1}{2}}$.....	14,5	0,45
O^{2}.....	200,0	6,15
	3262,5	100,00

Il y a un moyen de vérifier cette formule. D'après elle, 0,400 d'acide chlorindoptique chloré doivent renfermer 0,2632 de chlore, pour lesquels il faut employer 0,803 d'argent métallique.

Si, au contraire, la formule de l'acide est

$$C^{24}Cl^{10}H^{2}O,$$

0,400 d'acide devront renfermer 0,2732 de chlore, pour lesquels il faudra employer 0,834 d'argent.

Je pesai 0,803 d'argent métallique d'un côté, et 0,834

moins 0,803, ou 0,031 de l'autre; je les fis dissoudre séparément, et je versai la première dissolution dans 0,400 parties d'acide chlorindoptique chloré chauffé au rouge avec de la chaux, puis traité par l'acide nitrique.

Les dernières gouttes du sel argentique occasionnèrent encore un léger trouble. Alors le chlorure fut séparé par un filtre et la dissolution fut partagée en deux portions égales. Dans l'une on versa une certaine quantité des 0,031 d'argent dissous dans l'acide nitrique; il n'y eut pas de précipité. Dans l'autre portion l'on mit quelques gouttes d'acide hydrochlorique qui occasionna un trouble à peine sensible. Ainsi la quantité de chlore était plutôt au-dessous de 65,8 pour 100 qu'au-dessus.

On peut encore remarquer que M. Erdmann a trouvé 46,8 de chlore dans son sel d'argent. D'après ma formule, il aurait dû obtenir 47,5, et d'après la sienne 48,5.

L'acide chlorindoptique doit donc s'appeler acide chlorophénusique.

Hyd. de phényle.....	$C^{24}H^{10}\ O+H^2O$
Ac. chlorophénésique..	$C^{24}H^6Cl^4O+H^2O$
Ac. chlorophénisique..	$C^{24}H^4Cl^6O+H^2O$
Ac. chlorophénusique..	$C^{24}Cl^{10}\ O+H^2O$

J'ai dit plus haut que l'acide chlorindoptique chloré brut, traité par l'ammoniaque, m'avait donné un mélange de chlorophénusate et de chlorophénisate. Ce dernier, décomposé par un acide, a formé un précipité plus fusible que l'acide chlorophénusique. En le traitant par l'acide nitrique bouillant, il s'est transformé en peu de temps en une matière cristalline qui, lavée avec de l'éther, possédait toutes les propriétés du chlorophényle.

Sur le poids atomique du carbone;

PAR MM. ERDMANN ET MARCHAND.

(Extrait.)

Une des bases les plus importantes pour les calculs de la chimie organique, et que de nombreuses expériences pa-

raissaient avoir fixée d'une manière irrévocable, cette base vient d'être singulièrement ébranlée par MM. Dumas et Stas. Ces chimistes ont fait voir, par une série d'expériences fondées à ce qu'il paraît sur un principe parfaitement exempt de reproches, que le poids atomique du carbone doit être ramené de 76,43 à 75,0.

Ce nouveau nombre parait, au premier abord, se trouver en contradiction avec les résultats des chimistes les plus habiles qui ont calculé leurs analyses d'après l'ancien poids, sans s'apercevoir d'aucune erreur; il est notamment en contradiction avec les anciennes déterminations de M. Berzélius qui, à l'occasion de quelques doutes émis par M. Dumas sur l'entière exactitude du poids établi par le chimiste suédois, avait fait à cet égard de nouvelles expériences et confirmé son ancien chiffre.

Les choses en étant là, nous nous sommes décidés à répéter les expériences de MM. Dumas et Stas. Nous avouerons volontiers que ce n'est qu'avec beaucoup de méfiance que nous nous sommes mis à l'œuvre; mais, il faut le dire, nos résultats s'accordent en tout point avec ceux des chimistes français.

Le problème qu'il s'agissait de résoudre, c'était de brûler dans l'oxygène un poids donné de charbon pur et de peser l'acide carbonique produit, afin de connaître la proportion exacte d'après laquelle le carbone se combine avec l'oxygène.

Notre appareil était entièrement construit comme celui de MM. Dumas et Stas; nous étant assurés qu'il était susceptible de quelques simplifications, nous nous sommes arrêtés à la disposition que nous allons décrire et qui nous a servi dans nos combustions de diamant et de graphite.

On plaçait la matière à brûler dans une nacelle de platine, et celle-ci dans une nacelle de porcelaine un peu plus grande. Un fil de platine était fixé à l'anse de cette dernière, afin de pouvoir la pousser assez loin dans le tube à

combustion et l'en sortir, après l'opération, sans entraîner d'oxyde de cuivre avec le résidu. Ensuite on poussait la nacelle jusque vers le milieu du tube de porcelaine, dont la moitié antérieure avait été préalablement remplie d'oxyde de cuivre et de tournures de cuivre calcinées; ces dernières occupaient le devant du tube. Nous avons trouvé superflu l'emploi d'un second tube rempli d'oxyde de cuivre, pour brûler l'oxyde de carbone qui se serait formé par la combustion du graphite ou du diamant; car nous nous sommes assurés qu'il ne s'en forme jamais. La partie postérieure du tube à combustion était placée dans une grille de Liebig et communiquait avec un gazomètre à oxygène et fermé par de l'eau de chaux. L'oxygène s'obtenait par le chlorate de potasse et était purifié avant d'arriver dans le tube, à l'aide d'acide sulfurique contenu dans un tube à boules et de fragments de potasse logés dans un tube de deux pieds de long. Le gaz de la combustion traversait, avant d'être recueilli, une couche de chlorure de calcium; on le faisait absorber par deux tubes à boules remplis d'une lessive de potasse bien saturée, et auxquels se trouvaient encore adaptés deux tubes recourbés en U et remplis de fragments de potasse. Le dernier tube ne devait servir qu'à empêcher l'accès de l'acide carbonique, ainsi que de l'humidité de l'atmosphère, et n'était par conséquent pas pesé. Les fragments de potasse renfermés dans l'une des branches du côté du tube à combustion étaient, pour les deux premiers tubes, humectés de potasse caustique concentrée.

Avant de procéder aux expériences, nous avons vérifié expérimentalement que l'oxygène n'occasionnait pas d'excès dans les pesées, si l'on avait soin de déplacer ce gaz par un courant d'air atmosphérique.

La balance qui a servi dans nos expériences, accusait
de milligramme à une charge de 100 grammes.
voir bien disposé tout l'appareil, nous avons
par faire passer doucement de l'oxygène dans le

tube à combustion; puis, après l'avoir entouré de charbons incandescents, nous avons réglé le courant de gaz de manière à ne laisser échapper que fort peu d'oxygène libre. Toute l'opération durait environ trois heures. La combustion étant terminée, nous avons encore fait durer quelque temps le courant d'oxygène; enfin, après avoir éloigné les charbons, nous avons fermé le robinet du gazomètre, et remplacé celui-ci par un autre gazomètre destiné à faire passer de l'air atmosphérique dans l'appareil. On voyait aisément que tout l'oxygène était déplacé par de l'air, quand le dernier tube à potasse ne présentait plus aucune différence de poids.

Les échantillons de diamant que nous avons employés étaient, pour la plupart, taillés. Ils étaient jaunâtres ou de couleur de fumée. Avant de les peser, nous les avons légèrement calcinés.

Le diamant brûle, comme l'indiquent MM. Dumas et Stas, avec beaucoup de facilité, dès que le tube de porcelaine se trouve porté au rouge; les bulles de gaz étaient presque toutes absorbées dans le premier tube à boules. Nos échantillons ne laissaient qu'une très-petite quantité de cendres.

Quant au graphite que nous avons brûlé, il était également fort pur. Nous l'avons, en outre, soumis aux purifications indiquées par MM. Dumas et Stas. Il laissait toujours une petite quantité de résidu incombustible, composé, en majeure partie, de silice et de quelques lamelles de graphite non brûlé.

Les expériences I, II, III, IV, V se rapportent au diamant; les n°s VI, VII et VIII concernent le graphite naturel, et enfin le n° IX est relatif à la combustion du graphite préparé artificiellement.

Voici les détails de ces expériences :

NUMÉROS de L'EXPÉRIENCE.	MATIÈRE employée.	CENDRES.	CARBONE brûlé.	AUGMENTATION de poids du 1er tube à boules	AUGMENTATION de poids du 2e tube à boules.	AUGMENTATION de poids du 1er tube, avec fragment de potasse.	AUGMENTATION de poids des 2e et 3e tubes, avec fragment de potasse.	TOTAL de l'acide carbonique recueilli.	POIDS atomique du carbone.
I.	0,8062	0,001	0,8052	2,9410	0,0028	0,0029	0,000	2,9467	75,19
II.	1,0867	0,0009	1,0858	3,9746	0,0097	0,0032	0,000	3,9875	74,84
III.	1,375	0,0018	1,3057	4,9573	0,0045	0,0023	0,0018	4,965 9	75,10
IV.	1,6330	0,0025	1,6305	5,96895	0,00615	0,0030	0,00155	5,97945	74,98
V	0,7510	0,0010	0,7500	2,7425	0,0025	0,0020	0,0020	2,749	75,03
VI.	1,5746	0,037	1,5376	5,6095	0,0234	0,0029	0,0009	5,6367	75,02
VII.	1,6578	0,0084	1,6494	6,0185	0,0183	0,0015	0,0001	6,0384	75,18
VIII.	1,4580	0,0075	1,4505	5,30325	0,0090	0,0025	0,0010	5,31575	75,05
IX.	1,9040	0,0105	1,8935	6,9235	0,0075	0,0035	0,0010	6,9355	75,10
								Moyenne.....	75,087

Nous ajouterons à ces expériences quelques autres combustions faites sur quelques matières organiques.

Acide benzoïque. Il avait été préparé avec l'urine de cheval. Il était d'une grande pureté.

$0^{gr},924$, séchés dans le vide, ont donné 0,414 eau et 2,332 acide carbonique.

	D'après l'ancien poids.		D'après le nouveau poids.	
	Calculé.	Analysé.	Calculé.	Analysé.
Carbone . . .	69,26	69,78	68,86	68,83
Hydrogène. .	4,86	4,97	4,91	4,97

Une autre analyse a donné 69,79 carbone d'après l'ancien poids atomique.

Acide cinnamique, préparé par le styrax, purifié par la distillation, exprimé entre des papiers imbibés d'alcool, et cristallisé plusieurs fois.

$0^{gr},832$, séchés dans le vide à 100°, ont donné 0,406 eau et 2,225 acide carbonique.

	D'après l'anc. poids.		D'apr. le nouv. poids.	
	Calculé.	Analysé.	Calculé.	Analysé.
Carbone. . . .	78,38	73,94	72,96	72,93
Hydrogène. . .	5,33	5,43	5,40	5,43

Huile de girofle indifférente. 1,5775 (dont la combustion a duré cinq heures) ont donné 5,100 acide carbonique et 1,68 eau.

	D'après l'anc. poids.		D'apr. le nouv. poids.	
	Calculé.	Analysé.	Calculé.	Analysé.
Carbone. . . .	88,46	89,37	88,25	88,24
Hydrogène.. .	11,54	11,82	11,75	11,82

Deux autres analyses ont donné 88,15 et 88,09 carbone d'après le nouveau poids.

Naphtaline. $0^{gr},654$ de naphtaline sublimée et purifiée

ont donné 0,399 eau et $2^{gr},244$ d'acide carbonique.

	D'après l'anc. poids.		D'après le nouv. poids.	
	Analysé.	Calcul.	Analysé.	Calcul.
Carbone. . . .	93,87	94,87	92,76	93,58
Hydrogène. . .	6,13	6,27	6,24	6,27

Toutes ces expériences viennent également à l'appui du nouveau poids atomique 75 établi par MM. Dumas et Stas.

Phénomène de dilatation, observé sur le thermomètre Breguet,

PAR M. BREGUET fils.

Depuis longtemps on sait, d'après les observations des physiciens, que la dilatation des corps ne marche pas d'une manière uniforme, mais au contraire par sauts brusques. Ce phénomène ne pouvant être vu qu'avec le secours d'instruments délicats, n'a été aperçu que par des physiciens. L'instrument qui fait le sujet de cette Note met le phénomène tellement en évidence, qu'on le voit à la simple vue.

Ayant construit plusieurs hélices thermométriques (que l'on sait être composées des trois métaux or, argent et platine soudés ensemble, et amenés quelquefois à $0^{mm},02$), je voulus les éprouver relativement à un même courant voltaïque, provenant d'un petit couple zinc et cuivre. Je disposai chaque hélice séparément, comme M. le professeur de la Rive l'a fait dans ses expériences avec cet instrument.

A l'instant où le circuit fut établi, le calorique produit dans l'hélice par le passage du courant, projeta vivement l'aiguille du thermomètre, elle décrivit un arc d'un grand nombre de degrés, s'arrêta, puis parcourut un arc un peu

plus petit que le premier; s'arrêta de nouveau, et repartit en décrivant un nouvel arc plus petit que le second. Enfin, elle arriva à son maximum de déviation après une suite d'oscillations de plus en plus petites.

En interrompant le circuit, l'aiguille retourne à son point de départ par des oscillations semblables, mais en sens inverse.

Avec un compteur qui me permettait de marquer le commencement et la fin d'un phénomène se passant dans un temps moindre qu'une seconde, je marquai ainsi tous les temps d'arrêt de l'aiguille, et je répétai cela sur quatre hélices de différentes dimensions. Je trouvai que tous ces arcs étaient parcourus dans des temps égaux. Ils variaient depuis 0° jusqu'à 40°.

Une première hélice a donné pour le temps de chaque arc décrit..	1″, 25
Une seconde.....	0″,95
Une troisième.....	0″,94
Une quatrième.....	0″,77

Tout en soumettant mon observation à la sagacité des physiciens, je me permettrai une courte explication du phénomène, sans vouloir soutenir cependant qu'elle soit la véritable.

Je pense que ces oscillations peuvent être dues à l'élasticité de l'hélice; la température provenant d'un courant agissant subitement sur toutes les molécules à la fois, donne un mouvement de torsion à l'hélice, qui par son mouvement acquis avance un peu plus qu'elle ne devrait pour la température qu'elle a reçue dans cet instant. Elle tend donc à revenir, mais la cause perturbatrice agissant toujours pour élever la température, il y a un moment très-court d'équilibre entre la dilatation et la force de retour de l'hélice, ce qui procure un moment de repos; l'hélice repart, et les mêmes effets se répètent jusqu'au moment où la température atteint son maximum.

OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES. — DÉCEMBRE 1841.

JOURS.	9 HEURES DU MATIN.			MIDI.			3 HEURES DU SOIR.			9 HEURES DU SOIR.			THERMOMÈTR.		ÉTAT DU CIEL	VENTS
	Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	Maxim.	Minim.	A MIDI.	à MIDI.
1	743,36	+10,3		742,92	+11,6		742,08	+12,4		744,55	+ 9,4		+12,9	+ 9,2	Pluie continuelle.....	S. E.
2	747,37	+ 7,8		747,41	+10,8		746,03	+11,2		741,80	+ 8,4		+11,8	+ 6,2	Nuageux.....	S. S. O.
3	737,04	+11,6		739,15	+12,2		741,73	+11,1		745,16	+ 7,5		+13,0	+ 8,1	Pluie.....	S. S. O.
4	745,96	+ 6,7		746,76	+ 9,5		748,54	+ 8,4		752,83	+ 9,4		+10,0	+ 5,8	Beau.....	S. O.
5	759,98	+ 7,4		760,54	+10,2		760,60	+10,1		761,83	+ 8,6		+11,0	+ 6,0	Beau.....	O.
6	759,38	+ 8,2		757,25	+10,0		753,62	+10,1		753,43	+ 7,9		+10,2	+ 6,6	Couvert.....	S. O.
7	756,78	+ 6,0		756,86	+ 7,7		757,12	+ 6,8		757,58	+ 4,7		+ 8,0	+ 4,9	Pluie.....	O.
8	749,85	+ 9,0		747,40	+ 9,8		743,00	+10,5		745,31	+ 8,8		+11,3	+ 6,0	Pluie.....	S. O.
9	753,46	+ 7,3		755,92	+ 7,3		756,59	+ 7,5		756,76	+ 5,4		+ 7,9	+ 6,8	Nuageux.....	N. N. O.
10	748,12	+ 9,6		746,95	+12,2		745,68	+13,1		749,23	+ 9,5		+13,0	+ 4,0	Couvert.....	O. S. O.
11	757,23	+ 4,8		757,90	+ 8,0		758,06	+ 7,8		759,21	+ 6,0		+ 8,0	+ 4,1	Voilé.....	O.
12	757,23	+ 5,6		755,27	+ 7,4		753,30	+ 9,0		752,57	+11,0		+11,0	+ 3,4	Couvert.....	S. O.
13	750,40	+10,3		749,07	+10,5		746,55	+10,7		745,61	+ 8,9		+10,9	+ 9,3	Couvert.....	S. S. O.
14	747,27	+ 7,0		749,56	+ 7,8		752,10	+ 7,3		757,46	+ 4,7		+ 8,4	+ 6,0	Couvert.....	O. N. O.
15	761,39	+ 4,2		760,63	+ 7,1		759,44	+ 5,4		755,87	+ 4,8		+ 7,0	+ 3,3	Beau.....	O.
16	748,94	+ 5,3		747,15	+ 6,2		745,25	+ 6 2		744,09	+ 5,7		+ 6,8	+ 3,5	Pluie.....	S. S. O. viol.
17	745,88	+ 3,4		746,30	+ 4,6		747,00	+ 5,9		748,56	+ 2,0		+ 6,0	— 2,0	Nuageux.....	O.
18	746,90	— 0,3		746,07	— 0,3		744,82	— 0,8		742,78	— 1,9		— 0,2	— 1,3	Couvert.....	S. E.
19	739,10	— 2,4		738,30	— 1,3		736,63	— 0,1		735,23	+ 0,5		+ 0,9	— 3,0	Couvert.....	E. S. E.
20	738,56	+ 3,0		738,78	+ 4,1		739,31	+ 4,3		739,79	+ 2,9		+ 4,2	+ 0,8	Brouillard épais.....	S. E.
21	746,59	+ 2,2		748,02	+ 2,3		749,42	+ 2,4		751,98	+ 1,1		+ 2,6	+ 1,1	Couvert.....	N.
22	753,59	+ 2,5		754,38	+ 4,2		754,66	+ 5,0		755,98	+ 3,1		+ 5,4	+ 0,1	Pluie.....	O. S. O.
23	758,39	+ 5,5		758,06	+ 7,7		758,23	+ 7,2		757,74	+ 6,6		+ 7,5	+ 3,9	Quelques éclaircies...	S. O.
24	761,68	+ 5,6		762,07	+ 8,0		761,97	+ 7,8		761,52	+ 6,4		+ 8,0	+ 4,8	Couvert.....	S. O.
25	757,28	+ 8,1		754,69	+10,3		752,14	+ 9,7		750,47	+ 6,4		+10,7	+ 5,3	Couvert.....	S. O.
26	750,93	+ 3,2		751,91	+ 4,0		752,82	+ 5,2		755,33	+ 2,3		+ 5,0	+ 2,7	Couvert.....	N. O.
27	759,72	+ 1,4		760,00	+ 3,8		760,27	+ 3,2		761,47	+ 1,8		+ 5,1	+ 0,3	Nuageux.....	N. N. E.
28	761,87	— 0,4		761,16	+ 0,9		759,48	+ 2,3		759,89	+ 3,8		+ 3,8	— 1,2	Couvert.....	S.
29	760,29	+ 2,4		759,96	+ 4,7		758,92	+ 4,9		758,27	+ 3,0		+ 5,3	+ 1,3	Couvert.....	O.
30	759,31	+ 1,5		759,34	+ 2,0		759,96	+ 2,7		761,73	+ 0,9		+ 3,0	+ 0,8	Très-nuageux.....	E. N. E.
31	663,84	— 1,6		763,81	— 1,5		763,85	— 1,2		764,17	— 1,7		— 1,2	— 2,5	Couvert.....	N.

TABLE DES MATIÈRES,

Tome III. (3me Série.)

Page.

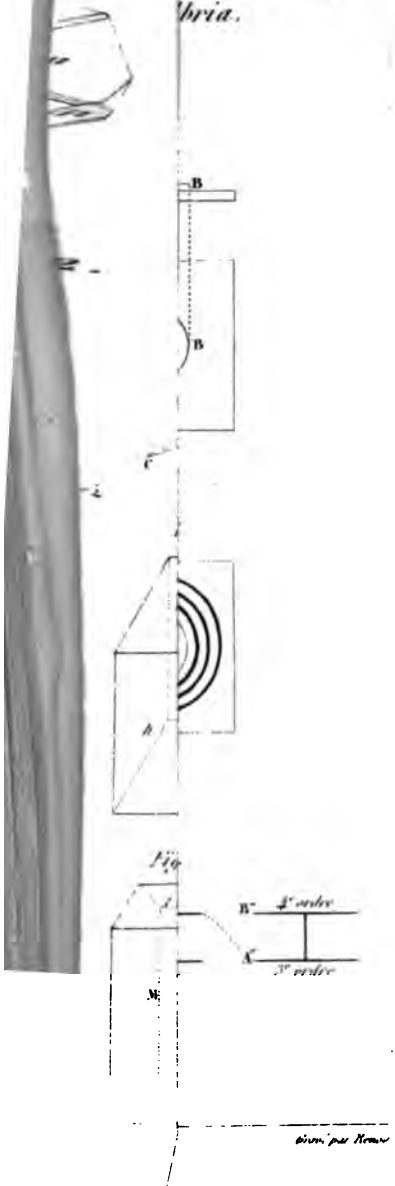
Recherches sur les lois de l'induction des courants par les courants; par M. Abria..... 5
— *Première partie.* Méthode d'observation..... *Ib.*
— *Seconde partie.* Influence de la partie non induite du circuit induit..... 30
— Influence de la distance..... 34
— Influence de la section du fil induit..... 40
— Influence de la conductibilité du fil induit..... 49
Mémoire sur les engrais et leurs valeurs comparées; par MM. Payen et Boussingault..... 65
— Observations théoriques et pratiques relatives aux principaux engrais examinés. — Fumier de ferme..... 71
— Pailles..... 72
— Résidus de diverses opérations sur les matières animales. 85
— Engrais désinfectés..... 94
— Tableau des analyses et valeurs comparées des engrais.. 100
— Tableau synoptique des équivalents des engrais..... 105
Recherches sur l'acide sébacique; par M. J. Redtenbacher. 108
Recherches sur les produits qui résultent de l'action de l'acide nitrique sur l'huile de ricin; par M. T.-G. Tilly.... 113
De l'action de l'acide nitrique sur les acides stéarique et oléique, et des produits qui en résultent; par M. C. Bromeis..... 118
— Action de l'acide nitrique sur l'acide stéarique..... *Ib.*
— Action de l'acide nitrique sur l'acide oléique..... 122
— Action de l'acide nitrique sur l'acide oléique siccatif de l'huile de lin..... 127
Observations météorologiques du mois de Septembre..... 128
Recherches cristallographiques; par M. de la Provostaye.. 129
— Acides tartrique et paratartrique, tartrates et paratartrates..... *Ib.*

Pages.

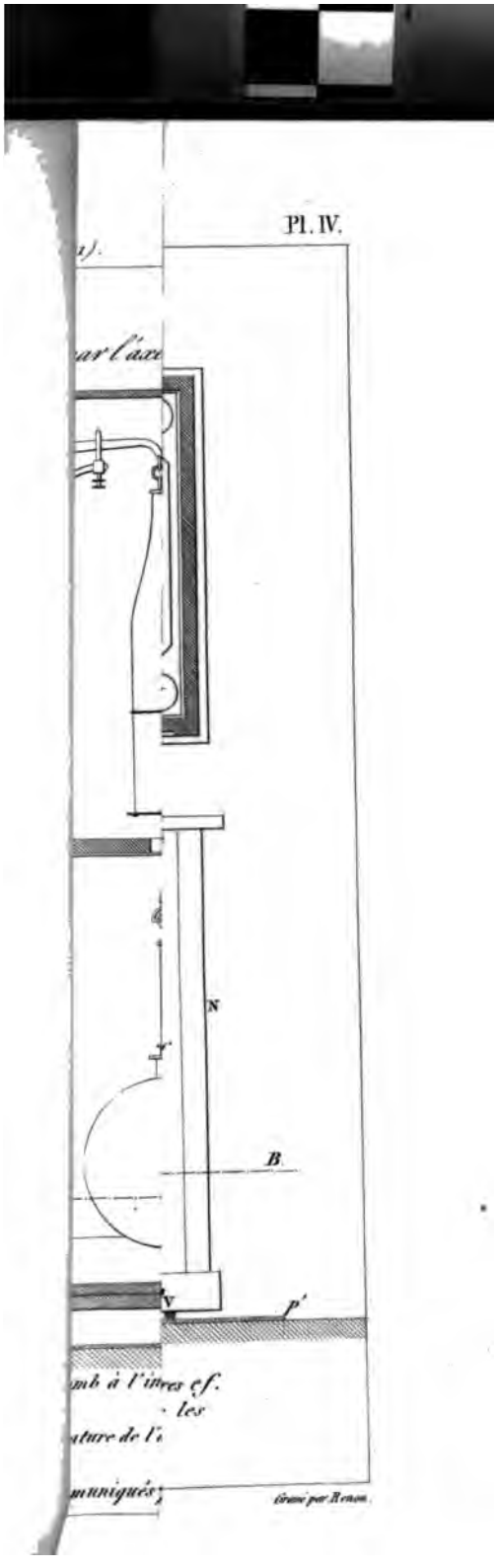
les sables submergés; par M. Triger 234
Sur la lumière qui apparaît pendant la cristallisation; par M. H. Rose..... 251
Observations météorologiques du mois d'Octobre 1841..... 256
Recherches sur la véritable constitution de l'air atmosphérique; par MM. Dumas et Boussingault..... 257
Description de quelques procédés pour l'analyse de l'atmosphère; par M. C. Brunner..... 305
Analyse de l'atmosphère de quelques mines du duché de Cornouailles; par M. P. Moyle..... 318
Du dégagement spontané de l'hydrogène sulfuré dans les eaux de la côte occidentale d'Afrique et d'autres localités; par M. Fr. Daniell..... 331
Considérations sur l'insalubrité de l'air dans les Maremmes; par M. Paul Savi, traduit de l'italien par M. Félix Leblanc..... 344
Recherches cristallographiques; par M. de la Provostaye. 353
Recherches sur l'indigo; par M. Erdmann..... 355
Recherches sur l'indigo; par M. Aug. Laurent..... 371
Observations météorologiques du mois de Novembre 1841.. 384
Sur les lunettes achromatiques à oculaires multiples; par M. Biot..... 385
Sur l'induction électro-dynamique; par M. Henry, de Princeton (extrait par M. Abria)..... 394
— Expériences relatives à l'induction d'un courant sur lui-même..... 396
— Expériences relatives à la production des courants secondaires (*courants de Faraday*)..... 397
— Sur les effets produits par l'interposition de diverses substances entre les conducteurs..... 399
— Sur les courants induits de troisième, quatrième et cinquième ordre 400
— Production des courants induits de divers ordres au moyen de l'électricité ordinaire..... 403
— Sur l'induction produite au moment où le courant galvanique commence, etc..... 407
— Sur deux espèces apparentes d'induction électro-dyna-

sique. *Pl. I.*

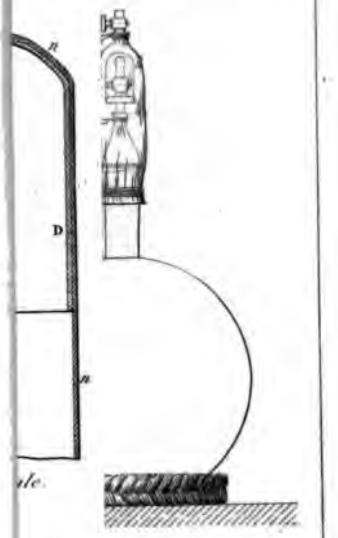
Recueil de l'induction
les courants,
bria.



dessiné par Kreutzer


Pl. IV.
N
B
V
p'
les
Gravé par Renou.

Pl. V.



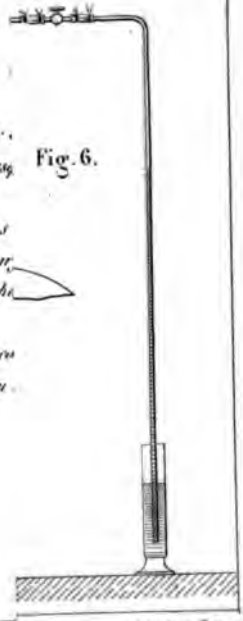


Fig. 6.

Gravé par Renou

(Novembre PL. VI.

de Cristallographiques.
de la Provostaye.

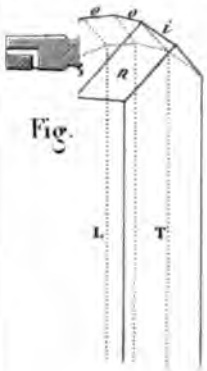
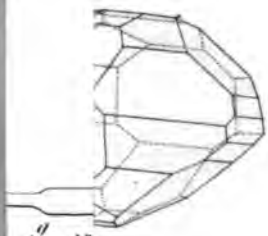
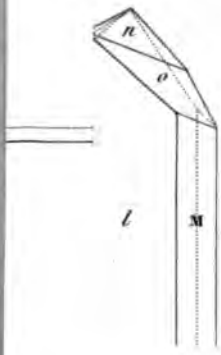


Fig.



Fi



Gravé par Renou.

[redacted]

(Novembr. Pl. VI.

...x cristallographiques.
... du Brevestaye.

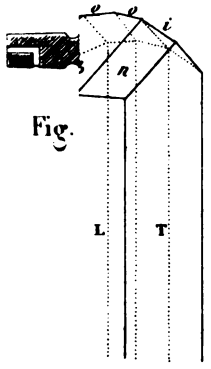
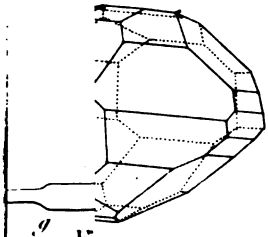
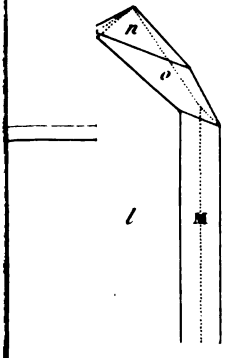


Fig.



g

Fi



Gravé par Renou.

OCT 22 1935
LEATHER — FULL CHROME